



TESIS - RE142541

# **POTENSI BIOGAS DAN ENERGI LISTRIK DARI PEMANFAATAN CH<sub>4</sub> LIMBAH CAIR DOMESTIK DAN NON DOMESTIK DI SURABAYA UTARA**

I MADE SATYA GRAHA  
NRP. 3315201003

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Mohammad Razif, MM

PROGRAM MAGISTER  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



TESIS - RE142541

# **THE POTENTIAL OF BIOGAS AND ELECTRIC ENERGY FROM THE UTILIZATION OF CH<sub>4</sub> DOMESTIK AND NON DOMESTIK**

I MADE SATYA GRAHA  
NRP. 3315201003

SUPERVISOR  
Dr. Ir. Mohammad Razif, MM

MASTER PROGRAME  
DEPARTEMEN ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENT, AND GEO ENGINEERING  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018

## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Magister Teknik (M.T.)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**I Made Satya Graha**

NRP. 3315201003

Tanggal Ujian : 04 Januari 2018

Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh :

1. **Dr. Jr. Mohammad Razif, MM**  
NIP : 19530502 198103 1 004

(Pembimbing)

2. **Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc, PhD**  
NIP : 19500114 197903 1 001

(Penguji)

3. **Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT**  
NIP : 19660116 199703 1 001

(Penguji)

4. **Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT**  
NIP : 19751018 200501 1 001

(Penguji)



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan

  
**D A A Warmadewanthi, S.T., M.T., PhD**  
NIP.19750212 199903 2 001

# **POTENSI BIOGAS DAN ENERGI LISTRIK DARI PEMANFAATAN CH<sub>4</sub> LIMBAH DOMESTIK DAN NON DOMESTIK DI SURABAYA UTARA**

Nama : I Made Satya Graha  
Nrp : 03211550010003  
Pembimbing : Dr. Ir. Mohammad Razif, MM

## **ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian Potensi Biogas dan Energi Listrik dari pemanfaatan CH<sub>4</sub> Limbah Domestik dan Non Domestik di Surabaya Utara selama tahun 2017-2026. Metode penelitian ini disusun berdasarkan tiga aspek yaitu, aspek lingkungan, aspek teknis dan aspek finansial. Penelitian ini ditujukan untuk Menentukan proyeksi gas CH<sub>4</sub> dari aktivitas tangki septik di 5 Kecamatan di Wilayah Surabaya Utara, dan Menentukan proyeksi potensi pengurangan emisi CH<sub>4</sub> dan konversinya menjadi biogas dan energi listrik.

Perhitungan emisi gas CH<sub>4</sub> dilakukan dan dianalisa mengenai dampak lingkungan Perhitungan besarnya proyeksi penduduk 10 tahun yang akan datang yang berkontribusi menimbulkan peningkatan dampak lingkungan pembuangan limbah cair ke tangki septik yang akan menghasilkan dampak lingkungan Emisi CH<sub>4</sub> pada aktivitas domestik dan non domestik Surabaya Utara. Perhitungan besarnya proyeksi 10 tahun dari biogas yang berasal dari gas CH<sub>4</sub> tangki septik menghasilkan energi listrik domestik dan non domestik dari aspek teknis. Serta Perhitungan besarnya potensi biogas yang punya nilai sosial ekonomi dari domestik berlantai banyak (rumah susun) pendekatan berdasarkan CDM project dengan aspek finansial.

Berdasarkan perhitungan limbah domestik emisi gas metana domestik pada tahun 2013 sebesar 54.92 ton/tahun dan setiap tahunnya meningkat. Emisi gas metana domestik dari IPCC 2013 sebesar 24.07 ton/tahun, emisi gas metana non domestik 2007 sebesar 1.36 ton/tahun dan emisi gas metana non domestik dari IPCC pada tahun 2007 sebesar 184.82 ton/tahun. Energi listrik domestik tahun 2007 sebesar 3040.99 kW, energi listrik domestik IPCC tahun 2007 sebesar 76951.65 kW dan non domestik tahun 2007 sebesar 16531.23 kW. Pemanfaatan dari CDM berdasarkan dari IPCC tahun 2018 sebesar Rp. 36370000,- .

Kata Kunci : domestik, non domestik, emisi CH<sub>4</sub>, energi listrik.

# **THE POTENTIAL OF BIOGAS AND ELECTRIC ENERGY FROM The UTILIZATION Of CH<sub>4</sub> DOMESTIC AND NON DOMESTIC WASTE IN NORTH SURABAYA**

Name : I Made Satya Graha  
Nrp : 03211550010003  
Supervisor : Dr. Ir. Mohammad Razif, MM

## **ABSTRACT**

Has done research on the potential of Biogas and electric energy from the utilization of CH<sub>4</sub> Domestic and Non domestic waste in Surabaya North during the years 2017-2026. The research method was developed based on three aspects, namely, environmental aspects, aspects of the technical and financial aspects. This research aimed to determine the projection of CH<sub>4</sub> gas activities 5 in septic tanks in the Area North of Surabaya, and determining the emission reduction potential of CH<sub>4</sub> projections and its conversion into biogas and electric energy.

Calculation of CH<sub>4</sub> emissions was conducted and analyzed regarding environmental impact calculation of the magnitude of the projection of the population 10 years to come which contribute to the improvement of the environmental impact of disposal raises the liquid waste into septic tanks that will produce CH<sub>4</sub> Emissions environmental impact on the activity of domestic and non domestic North Surabaya. Calculation of the magnitude of the projected 10 years of biogas derived from gas CH<sub>4</sub> cesspool produce electrical energy for domestic and non-domestic from the technical aspects. As well as the calculation of the magnitude of the potential of biogas which have socio-economic value of the many-floored domestic (flats) approach based on CDM project with financial aspects.

Based on the calculation of the domestic waste methane gas emissions domestically in 2013 of 54.92 tons/year and each year is increasing. Domestic methane gas emissions from the IPCC 2013 amounting to 24.07 tons/year of methane gas emissions, non domestic 2007 amounted to 1.36 tons/year of methane gas emissions and non domestic from the IPCC in 2007 amounted to 184.82 tons/year. Domestic electrical energy year 2007 amounting to 3040.99 kW, domestic electrical energy IPCC 2007 year totalling 76951.65 kW and non domestic year 2007 amounting to 16531.23 kW. The utilization of the CDM based on IPCC year 2018 is Rp. 36370000,-.

Key words: domestic, non-domestic, emissions of CH<sub>4</sub>, electrical energy.

## KATA PENGANTAR

Astungkara atas segala rahmatnya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tesis yang berjudul **“Potensi Biogas dan Energi Listrik dari Pemanfaatan CH<sub>4</sub> Limbah Cair Domestik dan Non Domestik di Surabaya Utara”**.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada Orang Tua serta kakak saya Ni Putu Gilang Saraswati, S.T dan adik saya Ni Nyoman Rere damayanti yang selalu mendoakan keberhasilan dalam setiap langkahku. Tak lupa saya ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Mohammad Razif, MM sebagai dosen pembimbing yang telah membimbing dengan penuh kesabaran hingga terselesaikannya Tesis ini.
2. Ibu Alia Damayanti, S.T., M.T., Ph.D sebagai dosen wali yang selalu mengarahkan selama masa perkuliahan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D selaku dosen penguji Tesis yang telah memberikan saran dan masukan dalam Tesis ini.
4. Bapak Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T selaku dosen penguji Tesis yang telah memberikan saran dan masukan dalam Tesis ini.
5. Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, SSi, M.T selaku dosen penguji Tesis yang telah memberi masukan, kritik serta saran dalam penulisan Tesis ini.
6. Bapak Arie Dipareza Syafe'i, S.T., MEPM., Ph.D selaku dosen penguji Tesis yang telah memberikan saran serta masukan dan motifasi dalam penulisan Tesis ini.
7. Dosen-dosen pengajar dan Staff di Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya atas ilmu yang telah diberikan serta bantuannya selama perkuliahan.
8. dr. Putu Kanjeng Ayu Pringgandani, S. Ked, Nasrullah Al Mubarak, Rima, Suhendra dan teman-teman seangkatan Magister TL 2015, serta pihak-pihak lain yang tidak bisa disebut satu per satu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan Tesis ini. Semoga Tesis yang telah disusun ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Desember 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Gambaran Umum Kota Surabaya .....	7
2.1.1 Letak Geografis Kota Surabaya.....	7
2.1.2 Kependudukan Kota Surabaya .....	9
2.2 Pemanasan Global .....	10
2.3 Gas Rumah Kaca.....	11
2.3.1 Metana (CH <sub>4</sub> ).....	12
2.4 Tangki Septik dan ABR .....	13
2.4.1 Proses pada Tangki Septik dan ABR.....	13
2.4.2 Perhitungan Metana (CH <sub>4</sub> ) .....	14
2.4.3 Mekanisme Kerja di dalam Tangki Septik .....	16
2.4.3.1 Proses Kimiawi .....	17
2.4.3.2 Proses Biologis .....	17
2.5 Konversi Biogas (CH <sub>4</sub> ) Menjadi Energi Listrik.....	17
2.6 Clean Development Mechanism (CDM).....	18
2.7 <i>Trend analisis</i> .....	18
2.8 Penelitian Terdahulu CH <sub>4</sub> .....	20

2.9	Penelitian Terdahulu CDM .....	21
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>23</b>
3.1	Kerangka Penelitian .....	23
3.2	Metode Aspek Lingkungan .....	25
3.2.1	Metode Pengumpulan Data.....	25
3.2.2	Metode Pengolahan Data.....	26
3.2.3	Metode kajian aspek lingkungan .....	27
3.3.	Metode Aspek Teknis .....	30
3.3.1.	Metode pengumpulan data.....	30
3.3.2.	Metode pengolahan data .....	30
3.3.3.	Metode kajian aspek Teknis.....	31
3.4.	Metode Aspek Finansial .....	31
3.4.1.	Metode pengumpulan data.....	31
3.4.2.	Metode pengolahan data .....	31
3.4.3.	Metode kajian aspek Finansial .....	32
3.5	Kesimpulan dan Saran.....	32
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>33</b>
4.1	Aspek Lingkungan .....	33
4.1.2	Proyeksi Penduduk Surabaya Utara.....	33
4.1.3	Persamaan Regresi dan Prediksi 10 Tahun Emisi Gas CH <sub>4</sub> .....	34
4.1.4	Analisa Dampak Lingkungan .....	50
4.2	Aspek Teknis.....	51
4.2.1	Prediksi Pemanfaatan Gas CH <sub>4</sub> Sebagai Energi Listrik.....	51
4.3	Aspek Finansial .....	55
4.3.1	Aplikasi Skema CDM untuk Rumah Susun.....	56
4.3.2	Perhitungan Potensi Emisi yang Tereduksi dengan Strategi CDM .....	56
<b>BAB 5 .....</b>		<b>59</b>
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran.....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>61</b>





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembagian Wilayah Administrasi.....	9
Gambar 2. 2 Kegiatan manusia penyumbang efek rumah kaca.....	12
Gambar 3. 1 Diagram Tahapan Penelitian .....	24
Gambar 3. 2 Estimasi materi yang terdegradasi secara organik di IPAL .....	28
Gambar 3. 3 Estimasi faktor emisi CH <sub>4</sub> untuk IPAL.....	29
Gambar 3. 4 Estimasi emisi CH <sub>4</sub> dari limbah cair domestik.....	29
Gambar 4. 1 Hubungan populasi terhadap Emisi Gas CH <sub>4</sub> .....	37
Gambar 4. 2 Prediksi Emisi Gas CH <sub>4</sub> IPCC.....	41
Gambar 4. 3 Prediksi Emisi Gas Metana Non Domestik.....	44
Gambar 4. 4 Prediksi Emisi Gas Metana Non Domestik (IPCC) .....	50
Gambar 4. 5 Hubungan Populasi terhadap Energi Listrik Domestik.....	52
Gambar 4. 6 Prediksi Energi Listrik Domestik (IPCC) .....	53
Gambar 4. 7 Prediksi Energi Listrik Non Domestik.....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Luas masing-masing kecamatan di Surabaya .....	7
Tabel 2. 2 Jumlah Penduduk Tiap Kecamatan.....	9
Tabel 2. 3 Sektor Kegiatan Penyumbang Emisi GRK di Indonesia .....	12
Tabel 2. 4 Kuantitas Tinja (feces) dan air seni (urine) .....	14
Tabel 2. 5 Karakteristik Sampel Awal Tinja .....	14
Tabel 4. 1 Populasi Penduduk di Surabaya Utara.....	33
Tabel 4. 2 Proyeksi Penduduk Surabaya Utara.....	34
Tabel 4. 3 Populasi Domestik .....	34
Tabel 4. 4 Emisi Gas Metana Domestik .....	36
Tabel 4. 5 Estimasi Materi yang Terdegradasi Domestik.....	38
Tabel 4. 6 Estimasi Faktor Emisi CH <sub>4</sub> .....	39
Tabel 4. 7 Estimasi Emisi CH <sub>4</sub> Dari Limbah Cair Domestik .....	40
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Emisi Gas CH <sub>4</sub> IPCC.....	41
Tabel 4. 9 Populasi Ekuivalen Non Domestik .....	42
Tabel 4. 10 Emisi Gas Metana Non Domestik .....	44
Tabel 4. 11 Tahap Pertama IPCC Non Domestik .....	46
Tabel 4. 12 Estimasi Faktor Emisi Non Domestik .....	47
Tabel 4. 13 Estimasi Emisi CH <sub>4</sub> dari Limbah Non Domestik .....	48
Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Emisi CH <sub>4</sub> Aktivitas Non Domestik (IPCC) .....	49
Tabel 4. 15 Energi Listrik Domestik.....	51
Tabel 4. 16 Potensi Energi Listrik yang dihasilkan Aktivitas Domestik (IPCC) ..	53
Tabel 4. 17 Potensi Energi Listrik Aktivitas Non Domestik .....	54
Tabel 4. 18 Perhitungan CDM .....	56

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan akan penggunaan energi semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan peningkatan konsumsi energi oleh masyarakat akibat penggunaan berbagai macam peralatan untuk menunjang kenyamanan dalam kehidupan. Sumber energi yang selama ini digunakan sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil, seperti batubara, minyak bumi, gas alam dan lain- lain. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang proses terbentuknya memerlukan waktu jutaan tahun dan dapat dikatakan merupakan energi tak terbarukan. Selain merupakan energi tak terbarukan, penggunaan energi fosil mengakibatkan meningkatnya gas rumah kaca. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca merupakan salah satu penyebab terjadinya pemanasan global (Waskito, 2011).

Pemanasan Global telah menjadi permasalahan sejak beberapa dekade terakhir dan menjadi perhatian khusus secara Internasional. Dampak negatif dari pemanasan global ini diantaranya adalah naiknya permukaan air laut, meningkatnya intensitas cuaca yang ekstrim, hilangnya gletser, punahnya berbagai jenis tumbuhan dan hewan serta perubahan jumlah dan pola *presipitasi* (turunnya air dari atmosfer) (Wahyono, 2008).

*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyimpulkan bahwa sebagian besar pemanasan global ini diakibatkan karena adanya peningkatan gas-gas akibat aktivitas manusia melalui Efek Rumah Kaca (ERK). Penjelasan dari IPCC tersebut diperkuat oleh Wahyono dalam salah satu bukunya menjelaskan bahwa “peningkatan intensitas dari ERK ini disebabkan oleh meningkatnya gas-gas yang menyebabkan ERK”, (Wahyono, 2008). Gas-gas yang menyebabkan ERK tersebut diantaranya adalah uap air ( $H_2O$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ), metana ( $CH_4$ ),  $NO_2$ , Ozon dan CFC (gas buatan manusia).

Meningkatnya gas-gas rumah kaca tidak lepas dari kontribusi aktivitas manusia setiap harinya, salah satu contoh adalah penggunaan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar untuk transportasi, maraknya penggunaan AC yang memakai

bahan pendingin CFC dan banyaknya pembangunan bak penampungan air limbah domestik skala rumah tangga (IPAL). Menurut Wahyono (2008) jika kecenderungan aktivitas manusia seperti ini tetap berlangsung maka pada abad yang akan datang suhu udara permukaan bumi akan naik antara 2,3°C sampai 7,0°C.

Mekanisme Pembangunan Bersih (MPB) yang lebih dikenal Clean Development Mechanism (CDM) adalah salah satu mekanisme pada Kyoto Protokol yang mengatur negara maju (Annex I) dalam upayanya menurunkan emisi gas rumah kaca. Mekanisme ini merupakan satu-satunya mekanisme yang terdapat pada Protokol Kyoto yang mengikutsertakan negara berkembang. Melalui mekanisme CDM ini, diharapkan akan adanya transfer teknologi dari negara maju ke negara berkembang untuk melakukan pembangunan yang berkelanjutan.

Aktivitas manusia seperti yang telah dijelaskan diatas biasa terjadi di kota-kota besar. Fokus utama untuk kota yang akan dijadikan objek penelitian pada *thesis* ini adalah Kota Surabaya Bagian Utara. Hal ini dikarenakan Kota Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia, dimana jumlah penduduknya yang cukup padat. berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Surabaya tahun 2016, jumlah penduduk Kota Surabaya sebanyak 2.943.528 jiwa. Survei Studi Resiko Lingkungan dan Kesehatan atau Environmental Health Risk Assessment (EHRA) tahun 2010 92.15% dari penduduk memiliki tangki septik dan 7.85% tidak memiliki fasilitas tangki septik. Dari data tersebut diketahui bahwa penduduk Kota Surabaya banyak yang menggunakan IPAL sebagai tempat pengolahan air limbahnya.

Peningkatan jumlah penduduk di Surabaya utara dari aktivitas pembuangan limbah dari domestik dan non domestik akan meningkatkan emisi CH<sub>4</sub> sehingga diperlukan langkah prediksi untuk jangka waktu 10 tahun kedepan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui prediksi emisi gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan dari penggunaan IPAL oleh masyarakat Surabaya khususnya di Surabaya Bagian Utara.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan perlunya dasar kajian dari lingkungan, teknis, finansial sebagai berikut:

1. Kajian aspek lingkungan diperlukan untuk menganalisis besarnya dampak lingkungan yang disebabkan oleh emisi gas CH<sub>4</sub> yang biasa disebut dampak lingkungan gas rumah kaca.
2. Kajian aspek teknis diperlukan untuk menganalisis besarnya potensi CH<sub>4</sub> untuk dikonversi secara teknis menjadi bahan bakar gas dan energi listrik.
3. Kajian aspek finansial diperlukan untuk menganalisis besarnya kelayakan finansial dari konversi CH<sub>4</sub> menjadi bahan bakar gas dan energi listrik lewat pendekatan skala project CDM dan perhitungan cost benefit analisis.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana mengetahui prediksi emisi gas CH<sub>4</sub> dengan data 10 tahun lalu untuk prediksi 10 tahun yang kedepan.
2. Bagaimana menghitung besarnya potensi biogas dan energi listrik yang dikonversi dari emisi gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan dari aktivitas tangki septik domestik dan IPAL non domestik di Surabaya Utara selama tahun 2017-2026.
3. Berapa besarnya potensi pengurangan emisi gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan dari aktivitas tangki septik domestik dan IPAL non domestik di Surabaya Utara selama tahun 2017-2026.

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menentukan proyeksi total besarnya gas CH<sub>4</sub> dari aktivitas tangki septik dari tahun 2017 sampai tahun 2026 di 5 Kecamatan di Wilayah Surabaya Utara dan kajian berdasarkan aspek lingkungan.
2. Menentukan proyeksi potensi biogas dan energi listrik yang dikonversi dari gas CH<sub>4</sub> dari tahun 2017 sampai tahun 2026 di 5 Kecamatan di Wilayah Surabaya Utara dan kajian berdasarkan aspek teknis.
3. Menentukan proyeksi potensi pengurangan emisi gas CH<sub>4</sub> dari tahun 2017 sampai tahun 2026 di 5 Kecamatan di Wilayah Surabaya Utara dan kajian berdasarkan aspek finansial (pendekatan berdasarkan CDM Project).

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Sebagai kontribusi informasi dan masukan kepada Instansi Pemerintah serta sebagai media sosialisai kepada masyarakat tentang pola penggunaan dan pembangunan IPAL yang dapat meningkatkan gas rumah kaca.
2. Mengetahui besarnya gas  $\text{CH}_4$  yang dihasilkan dari IPAL di Kota Surabaya Bagian Utara untuk strategi penurunan emisi gas rumah kaca.
3. Mendapatkan potensi energi listrik dari IPAL di Surabaya bagian utara sebagai salah satu upaya penurunan emisi gas rumah kaca dari gas  $\text{CH}_4$ .

#### **1.5 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup atau batasan dari penelitian ini yaitu:

1. Emisi gas rumah kaca yang diteliti adalah  $\text{CH}_4$
2. Bangunan pengolahan air limbah domestik dan non domestik yang dimaksud adalah tangki septik/IPAL.
3. Penentuan sampling area kuesioner berada di Kota Surabaya Bagian Utara yang memiliki 24 kelurahan dengan 98 responden termasuk apartemen (4 responden per kelurahan).
4. Penelitian ini akan dilaksanakan dari Bulan Agustus 2017 – Desember 2017.
5. Aspek Lingkungan :
  - Perhitungan besarnya proyeksi penduduk 10 tahun yang akan datang yang berkontribusi menimbulkan peningkatan dampak lingkungan pembuangan limbah cair ke tangki septik yang akan menghasilkan dampak lingkungan Emisi  $\text{CH}_4$ .
  - Perhitungan besarnya proyeksi 10 tahun dari emisi  $\text{CH}_4$  dari Tangki septik domestik dan non domestik yang berkontribusi menimbulkan dampak Emisi Gas Rumah Kaca.
6. Aspek Teknis
  - Perhitungan besarnya proyeksi 10 tahun dari biogas yang berasal dari gas  $\text{CH}_4$  dari tangki septik domestik dan non domestik.

- Perhitungan besarnya proyeksi 10 tahun dari potensi energi listrik yang berasal dari tangki septik domestik dan non domestik.

#### 7. Aspek Finansial

- Perhitungan besarnya potensi biogas yang punya nilai sosial ekonomi dari domestik berlantai banyak (apartemen) dan bangunan non domestik berlantai banyak (Pusat perkantoran, pertokoan, pusat berbelanja, hotel, rumah sakit).
- Perhitungan besarnya energi listrik yang punya nilai sosial ekonomi dari domestik berlantai banyak (apartemen) dan bangunan non domestik berlantai banyak (Pusat perkantoran, pertokoan, pusat berbelanja, hotel, rumah sakit).



## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gambaran Umum Kota Surabaya**

##### **2.1.1 Letak Geografis Kota Surabaya**

Luas Kota Surabaya  $\pm$  32,637.06 ha, dengan kedudukan geografis berada pada 07°21' Lintang Selatan dan 112°36' sampai dengan 112°54' Bujur Timur. Batas administrasi Kota Surabaya adalah:

Utara	: Selat Madura
Sebelah Timur	: Selat Madura
Sebelah Selatan	: Kabupaten Sidoarjo
Sebelah Barat	: Kabupaten Gresik

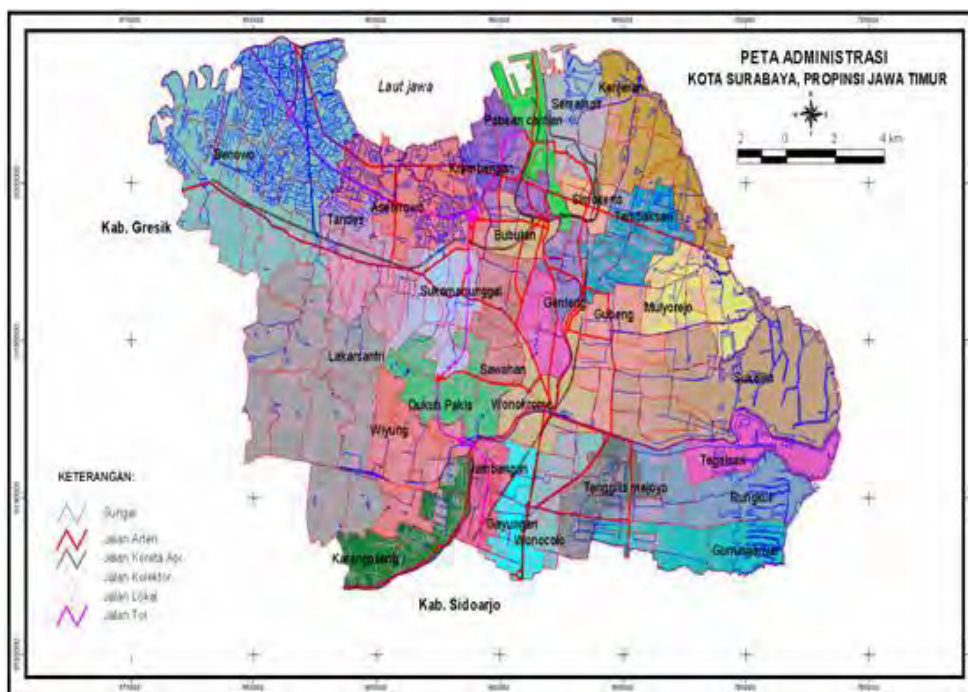
Kota Surabaya yang merupakan Ibu Kota Provinsi Jawa Timur yang wilayah administrasinya terbagi kedalam 5 wilayah, yaitu Surabaya Utara, Surabaya Timur, Surabaya Selatan, Surabaya Barat, dan Surabaya Pusat. Jumlah total Kecamatan di Kota Surabaya sebanyak 31 Kecamatan, sedangkan jumlah Kelurahan sebanyak 163 Kelurahan yang terbagi lagi menjadi 1.363 RW (Rukun Warga) dan 8.909 RT (Rukun Tetangga). Luas masing-masing kecamatan di Surabaya dipresentasikan pada Tabel 2.1 dan pembagian wilayah untuk tiap-tiap kecamatan dapat dilihat pada Gambar 2.1.

**Tabel 2. 1 Luas masing-masing kecamatan di Surabaya**

<b>No</b>	<b>Wilayah</b>	<b>Kecamatan</b>	<b>Luas</b>
1	Surabaya Pusat	Tegalsari	429
		Genteng	405
		Bubutan	386
		Simokerto	259
2	Surabaya Utara	Pabean Cantikan	680
		Semampir	876
		Krembangan	834
		Kenjeran	777

No	Wilayah	Kecamatan	Luas
		Bulak	672
3	Surabaya Timur	Tambaksari	899
		Gubeng	799
		Rungkut	2,108
		Tenggilis Mejoyo	552
		Gunung Anyar	971
		Sukolilo	2,369
		Mulyorejo	1,421
4	Surabaya Selatan	Sawahan	693
		Wonokromo	847
		Karangpilang	923
		Dukuh Pakis	994
		Wiyung	1,246
		Wonocolo	677
		Gayungan	607
		Jambangan	419
5	Surabaya Barat	Tandes	1,107
		Sukomanunggal	923
		Asemrowo	1,544
		Benowo	2,373
		Pakal	2,207
		Lakarsantri	1,899
		Sambikerep	2,368
<b>TOTAL</b>			<b>32,681</b>

**Sumber** : Dinas Tata Kota dan Permukiman Tahun 2015



**Gambar 2. 1 Pembagian Wilayah Administrasi**

### 2.1.2 Kependudukan Kota Surabaya

Populasi penduduk Kota Surabaya pada tahun 2009 mencapai 2.902.507 jiwa. Dalam Pertumbuhan penduduk Kota Surabaya pertahunnya sebesar 0.6% . Hal ini disebabkan kota Surabaya menjadi daerah tujuan orang-orang di sekitarnya untuk mencari kehidupan di Surabaya, mengingat Surabaya adalah sebagai pusat perdagangan dan pemerintahan di daerah Jawa Timur.

**Tabel 2. 2 Jumlah Penduduk Tiap Kecamatan**

No	Wilayah	Kecamatan	Jumlah Kelurahan	Jumlah Penduduk (Jiwa)
1	Surabaya Pusat	Tegalsari	5	104.109
		Genteng	5	60.462
		Bubutan	5	103.942
		Simokerto	5	100.050
2	Surabaya Utara	Pabean Cantikan	5	82.601
		Semampir	5	190.158
		Krembangan	5	119.159
		Kenjeran	4	154.531
		Bulak	5	42.176
3	Surabaya Timur	Tambaksari	6	223.906
		Gubeng	6	139.355

No	Wilayah	Kecamatan	Jumlah Kelurahan	Jumlah Penduduk (Jiwa)
		Rungkut	6	108.494
		Tenggilis Mejoyo	5	56.482
		Gunung Anyar	4	54.127
		Sukolilo	7	108.292
		Mulyorejo	6	85.344
4	Surabaya Selatan	Sawahan	6	207.101
		Wonokromo	6	164.122
		Karangpilang	4	72.379
		Dukuh Pakis	4	60.048
		Wiyung	4	68.080
		Wonocolo	5	80.436
		Gayungan	4	45.415
		Jambangan	4	49.310
5	Surabaya Barat	Tandes	12	91.497
		Sukomanunggal	5	100.794
		Asemrowo	5	45.901
		Benowo	5	58.613
		Pakal	5	50.866
		Lakarsantri	6	55.403
		Sambikerep	4	60.375
<b>TOTAL</b>			163	2.943.528

**Sumber:** Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil Kota Surabaya 2016

## 2.2 Pemanasan Global

Bumi mempunyai suhu yang sesuai bagi kehidupan baik manusia maupun makhluk lainnya, akibat dari efek rumah kaca (ERK). Jika tidak ada ERK di dunia ini, maka bumi akan mempunyai suhu dibawah titik beku, yang akan berpengaruh terhadap kehidupan dimuka bumi ini. Di dalam atmosfer bumi, terdapat berbagai jenis gas, dimana gas-gas tersebut dapat meneruskan sinar matahari yang bergelombang pendek, sehingga permukaan bumi menjadi panas, dan permukaan bumi memancarkan kembali sinar yang diterimanya.

Menurut hukum fisika, panjang gelombang sinar yang dipancarkan sebuah benda tergantung pada suhu benda tersebut. Makin tinggi suhunya, akan semakin pendek panjang gelombangnya. Matahari dengan suhu yang tinggi memancarkan sinar dengan gelombang yang pendek. Namun sebaliknya permukaan bumi dengan

suhu yang rendah, maka memancarkan sinar dengan gelombang panjang yaitu sinar infra-merah. Sinar infra merah dalam atmosfer terserap oleh gas tertentu sehingga tidak terlepas ke angkasa luar. Panas yang terperangkap di dalam lapisan bawah atmosfer yaitu troposfer, sebagai akibat ditimbulkannya permukaan bumi dan troposfer menjadi naik suhu udaranya. Dan peristiwa inilah yang disebut dengan istilah *Efek Rumah Kaca* (ERK). Jika kecenderungan seperti sekarang ini terus berlangsung, maka pada abad yang akan datang, suhu udara permukaan bumi akan naik antara 2,3°C sampai 7,0°C (Wahyono, 2008).

Peter Whetton (1993) dalam Trismidianto, dkk, (2008) dengan menggunakan model GCM untuk wilayah Indonesia dihasilkan adanya peningkatan suhu sekitar 0.1°C – 0.5°C pada tahun 2010 dan tahun 2070 sekitar 0.4°C – 3.0°C.

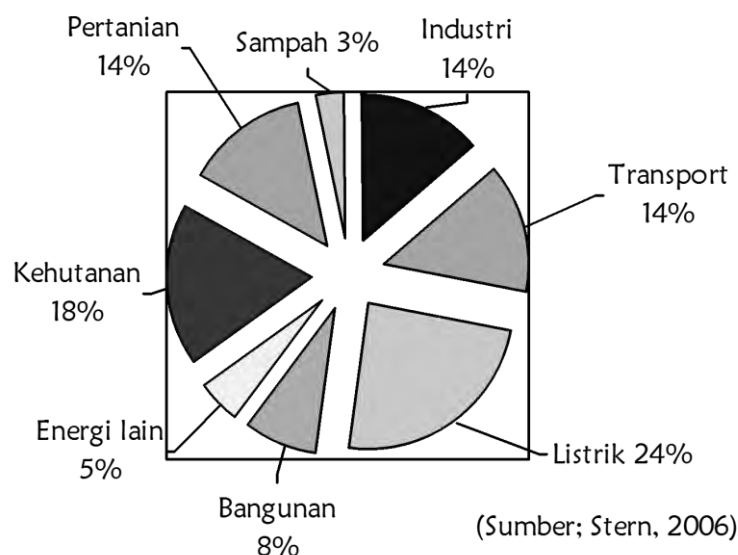
### **2.3 Gas Rumah Kaca**

Gas yang menyebabkan terjadinya Efek Rumah Kaca (ERK) disebut *Gas Rumah Kaca* (GRK) yang antara lain meliputi uap air (H<sub>2</sub>O), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), NO<sub>2</sub>, Ozon dan CFC (gas buatan manusia) (Wahyono, 2008).

Efek rumah kaca disebabkan oleh gas-gas rumah kaca, seperti: karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>), dan lain sebagainya. Dimana, konsentrasi terbesar gas rumah kaca adalah CO<sub>2</sub> yaitu sebesar 72%, sedangkan komposisi metana dan oksida nitrogen masing-masing sebesar 18% dan 9%. Hal tersebut wajar bila melihat peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara yang terus mengalami rata-rata peningkatan yang signifikan selama 10 tahun terakhir yaitu sebesar 1,9 ppm per tahun atau peningkatan sekitar 3% per tahun (IPCC, 2006).

Emisi GRK berasal dari kegiatan manusia, terutama yang berhubungan dengan penggunaan bahan bakar fosil (seperti minyak bumi, gas bumi, batu bara, dan gas alam). Pembakaran bahan bakar fosil sebagai sumber energi untuk listrik, transportasi, dan industri akan menghasilkan karbondioksida dan gas rumah kaca lain yang dibuang ke udara. Emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil menyumbang 2/3 dari total emisi yang dikeluarkan ke udara. Sedangkan 1/3 lainnya dihasilkan kegiatan manusia dari sektor kehutanan, pertanian, dan sampah

(Stern, 2007). Persentase kegiatan manusia penyumbang efek rumah kaca dipresentasikan pada Gambar 2.2 dan Tabel 2.3.



**Gambar 2. 2 Kegiatan manusia penyumbang efek rumah kaca**

**Tabel 2. 3 Sektor Kegiatan Penyumbang Emisi GRK di Indonesia**

Sektor	Emisi Ekuivalen Karbondioksida(CO <sub>2</sub> ) (Gg)	Persentase dari Total Emisi GRK (%)
Kehutanan & Tata Guna Lahan	315.290,19	42,5
Energi dan Transport	303.829,95	40,9
Pertanian	99.515,24	13,4
Proses Industri	17.900,50	2,4
Limbah	6.039,39	0,8
Total	742.575,26	100

### 2.3.1 Metana (CH<sub>4</sub>)

Jumlah emisi gas metana ke atmosfer yang berasal dari sumber-sumber alamiah pada saat ini diperkirakan mencapai 208 juta ton pertahunnya. Dari keseluruhan sumber-sumber alamiah yang ada, sumber dari lahan basah (wetland) merupakan sumber yang terbesar yang jumlahnya diperkirakan sebanyak 170 Tg atau 170 juta ton pertahunnya. Sumber-sumber lainnya adalah emisi geologis (geological emissions) yang diperkirakan sebanyak 42- 64 juta ton/tahun, emisi dari

danau-danau sekitar 30 juta ton per tahun dan emisi dari tumbuh-tumbuhan sebanyak 20-60 juta ton pertahunnya (US-EPA, 2010).

Perhitungan gas metan dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar gas metan yang berpotensi untuk di konversi menjadi energy listrik.

## **2.4 Tangki Septik dan ABR**

### **2.4.1 Proses pada Tangki Septik dan ABR**

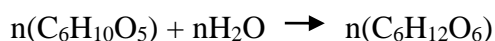
Proses pengolahan limbah domestik yang terjadi pada tangki septik adalah proses pengendapan dan stabilisasi secara anaerobik. Tangki septik bisa dianggap sebagai proses pengolahan awal (primer). Tangki septik tidak efektif untuk mengurangi jumlah bakteri dan virus yang ada pada limbah domestik.

Proses anaerobik sangat penting dalam proses pengolahan air limbah di suatu daerah yang memiliki iklim sedang. Proses anaerobik dibentuk oleh bakteri anaerobik khusus yang merupakan konversi dasar, dalam kondisi anaerobik, padatan limbah dibentuk menjadi biogas yang merupakan metana dan karbon dioksida.

Proses anaerobik terdiri dari 4 tahapan proses yaitu :

#### **1. Hidrolisis**

Tahap hidrolisis meliputi proses organik limbah seperti protein, polisakarida, lemak, dll.



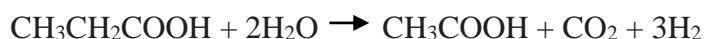
#### **2. Acidogenesis**

Tahap acidogenesis merupakan proses oksidasi anaerobik dari asam lemak dan alkohol dan proses fermentasi dari asam amino dan karbohidrat menjadi asam lemak (volatile fatty acids) seperti butirat dan propionate dan gas hydrogen



#### **3. Acetogenesis**

Proses konversi butirat dan propionate menjadi asetat



#### 4. Methanogenesis

Proses konversi dari asetat, hidrogen dan karbon dioksida menjadi gas metan



(Mara, 2003)

#### 2.4.2 Perhitungan Metana (CH<sub>4</sub>)

Senyawa kimia yang ada dalam feces adalah C<sub>100</sub>H<sub>170</sub>O<sub>61</sub>N<sub>5</sub>S<sub>0,1</sub> dan sedangkan untuk urine adalah C<sub>100</sub>H<sub>331</sub>O<sub>86</sub>N<sub>151</sub>S<sub>0,2</sub> (Liu dkk, 2008). Dalam menghitung emisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>) yang ada di dalam tangki septik menggunakan berat kering dari tinja dan urine yang di presentasikan pada tabel 2.4 tentang kuantitas tinja (*feces*) dan air seni (*urine*)

**Tabel 2. 4 Kuantitas Tinja (feces) dan air seni (urine)**

Keterangan	Berat Basah	Berat Kering
	Gram/orang/hari	
Tinja( <i>feces</i> )	135-270	35-70
Air seni ( <i>urine</i> )	1.000-1.300	50-70
Jumlah	1.135-1.570	85-140

Karakteristik sampel awal tinja menurut El Haq, (2009) dapat dilihat dari tabel 2.4 tentang karakteristik sampel awal tinja.

**Tabel 2. 5 Karateristik Sampel Awal Tinja**

Parameter	Nilai
pH	7,3
Suhu	26°C
%N	6
COD	12.080 mg/L



Parameter	Nilai
%C	47,32
C/N	7,9
VS	4,222 g/L
TS	4,957 g/L

Sumber : El Haq, 2009

Menurut “Buku Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku II Volume 4” yang dikeluarkan oleh kementrian lingkungan hidup tahun 2012, dimana merupakan terjemahan dari IPCC. Dalam buku tersebut menyebutkan bahwa ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam melakukan perhitungan estimasi GRK dari limbah cair rumah tangga, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan metode tier dalam penghitungan emisi CH<sub>4</sub> dari limbah cair rumah tangga.

- a. Tier 1

Estimasi-estimasi dari metode Tier 1 berdasarkan pada metode IPCC FOD yang sebagian besar menggunakan data aktivitas default dan parameter-parameter default. Metode Tier 1 cocok untuk perhitungan dengan parameter data yang terbatas.

- b. Tier 2

Metode ini sama dengan metode Tier 1, tetapi membutuhkan faktor emisi spesifik dan data aktivitas spesifik. Misalnya pada metode Tier 2, faktor emisi spesifik untuk sistem pengolahan spesifik pada perhitungan dapat tidak dipertimbangkan. Jumlah lumpur yang dihilangkan untuk insinerasi, landfill, dan lahan pertanian dapat dipertimbangkan pada metode Tier 2.

- c. Tier 3

Metode ini dapat digunakan pada negara dengan data yang baik dan telah menggunakan metode yang sangat baik. Negara dengan metode yang sangat baik dapat didasarkan atas data spesifik dari fasilitas pengolahan limbah cair.

2. Pemilihan faktor emisi

Emisi CH<sub>4</sub> dari Limbah Cair kota dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{Emisi CH}_4 = [\sum I_j (U_i * T_{ij} * EF_j)] (TOW - S) - R \quad (2.1)$$

dengan persamaan faktor emisinya adalah,

$$EF_j = Bo * MCF_j \quad (2.2)$$

dimana :

Emisi $\text{CH}_4$	= emisi-emisi $\text{CH}_4$ dalam tahun inventori, kg $\text{CH}_4/\text{th}$
TOW	= total organik dalam limbah cair dalam tahun inventori, kg BOD/th
S	= komponen organik diambil sebagai lumpur dalam tahun inventori, kg BOD/th
$U_i$	= fraksi populasi dalam grup income i dalam tahun inventori
$T_{i,j}$	= derajat pemanfaatan dari saluran atau sistem pengolahan/pembuan, j, untuk tiap fraksi grup pendapatan i dalam tahun inventori.
i	= grup pendapatan: perkotaan, pendapatan tinggi perkotaan dan pendapatan rendah perkotaan
j	= tiap saluran atau sistem pengolahan/ pembuangan
EF <sub>j</sub>	= faktor emisi, kg $\text{CH}_4$ / kg BOD
R	= jumlah dari pemulihan $\text{CH}_4$ dalam tahun inventori, kg $\text{CH}_4/\text{th}$
Bo	= kapasitas maksimum produksi $\text{CH}_4$ (kg $\text{CH}_4/\text{kg}$ BOD) dengan default maksimum kapasitas produksi $\text{CH}_4$ untuk limbah cair perkotaan 0.6 kg $\text{CH}_4/\text{kg}$ BOD atau 0.25 kg $\text{CH}_4/\text{kg}$ COD
MCF <sub>j</sub>	= faktor koreksi metan (fraksi).

3. Pemilihan data aktivitas

4. *Time series consistency*

Sama halnya dengan limbah cair rumah tangga, penghilangan lumpur dan rekoveri  $\text{CH}_4$  sebaiknya diestimasi secara konsisten sepanjang tahun pada jangka tahun tertentu. Rekoveri metan sebaiknya dipertimbangkan jika data spesifik mencukupi. Jumlah rekoveri metan sebaiknya dikurangi dari produksi metan seperti pada Persamaan penghitungan emisi GRK.

5. Tingkat ketidakpastian.

6. Pada estimasi perhitungan emisi dari limbah cair industri terdapat beberapa parameter yang sulit untuk didapatkan nilai kepastiannya (tingkat ketidakpastian).

### 2.4.3 Mekanisme Kerja di dalam Tangki Septik

Tangki septik terdiri dari tangki sedimentasi yang kedap air digunakan sebagai tempat tinja dan air buangan masuk dan akan mengalami dekomposisi. Di dalam tangki ini tinja akan berada selama beberapa hari. Selama waktu tersebut

tinja akan mengalami dua proses yakni proses kimiawi dan proses biologis (Notoatmodjo, 2007).

#### **2.4.3.1 Proses Kimiawi**

Akibat penghancuran tinja akan direduksi dan sebagian besar (60-70%) zat-zat padan akan mengendap di dalam tangki sebagai *sludge*. Zat-zat yang tidak dapat hancur bersama-sama dengan lemak dan busa akan mengapung dan membentuk lapisan yang menutup permukaan air dalam tangki tersebut. Lapisan ini disebut *scum* atau buih yang berfungsi mempertahankan suasana anaerobik dari cairan dibawahnya yang memungkinkan bakteri-bakteri anaerob dapat tumbuh subur dan yang akan berfungsi pada proses berikutnya.

#### **2.4.3.2 Proses Biologis**

Dalam proses ini terjadi dekomposisi melalui aktivitas bakteri anaerob dan fakultatif anaerob yang memakan zat-zat organik dalam *sludge* dan *scum*. Hasilnya, selain terbentuknya gas dan zat cair lainnya adalah juga pengurangan volume *sludge* sehingga memungkinkan tangki septik tidak cepat penuh. Kemudian cairan *effluent* sudah tidak mengandung bagian-bagian tinja dan memiliki BOD yang relatif rendah. Cairan *effluent* ini akhirnya dialirkan keluar melalui pipa dan masuk ke dalam tempat perembesan atau peresapan. Kedua tahapan diatas berlangsung dalam tangki septik. Air buangan yang berasal dari *Water Closet* masuk kedalam bejana atau tangki akan mengendap, terpisah antara benda cair dengan benda padatnya.

### **2.5 Konversi Biogas (CH<sub>4</sub>) Menjadi Energi Listrik**

Menurut Bent (2007), 1 Kg gas metana setara dengan  $6,13 \times 10^7$ J, sedangkan 1 kWh setara dengan  $3,6 \times 10^6$ J. Untuk massa jenis gas metana  $0,656 \text{ kg/m}^3$ . Sedangkan  $1 \text{ m}^3$  gas metana setara dengan 11,17 kWh.

Perhitungan potensi energi listrik dari gas metan (CH<sub>4</sub>) dapat menggunakan persamaan dibawah ini.

$$E = V_{gm} \times FK$$

Dimana : E = Produksi Energi Listrik (kWh)

$V_{gm}$  = Jumlah volume gas metana ( $\text{m}^3$ )

FK = Faktor Konversi ( $\text{kWh/m}^3$ )

## **2.6 Clean Development Mechanism (CDM)**

Mekanisme Pembangunan Bersih adalah sebuah mekanisme dimana negaranegara yang tergabung dalam Annex I memiliki kewajiban untuk menurunkan emisi gas-gas rumah kaca sampai angka tertentu pada tahun 2012 seperti yang telah diatur dalam Protokol Kyoto, membantu negara-negara non-Annex I untuk melaksanakan proyek-proyek yang mampu menurunkan atau menyerap emisi setidaknya satu dari enam jenis gas rumah kaca. GRK yang dimaksud ialah seperti tertera dalam lampiran A Protokol Kyoto yaitu karbondioksida (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), nitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), hidroflorokarbon (HFCs), Perflorokarbon (PFCs) dan Sulfur heksaflorida (SF<sub>6</sub>). Negara-negara non Annex I yang dimaksud adalah yang menandatangani Protokol Kyoto namun tidak memiliki kewajiban untuk menurunkan emisinya. Satuan jumlah emisi GRK yang bisa diturunkan dikonversikan menjadi sebuah kredit yang dikenal dengan istilah Certified Emissions Reduction (CERs) – satuan reduksi emisi yang telah disertifikasi (IGES, 2006).

Menurut Soemarwoto (2004) bahwa sebelum dapat dijual kredit reduksi emisi (CERs) itu harus diverifikasi dulu kebenarannya. CERs adalah kredit reduksi emisi yang telah diverifikasi. Verifikasi bertujuan untuk menghindari penipuan dan dilakukan oleh badan yang diakreditasi oleh sebuah supervisory executive board.

Suatu proyek CDM dapat dikatakan menghasilkan kredit karbon apabila proyek tersebut harus menunjukkan adanya pengurangan emisi jika dibandingkan dengan kondisi awal (baseline scenario), dimana kondisi awal merupakan kondisi yang terjadi saat ini pada proses yang normal. Aspek penting lainnya adalah proyek yang akan dijadikan proyek CDM harus sejalan dengan kebijakan lingkungan yang berlaku di negara yang bersangkutan dan juga dengan tujuan akhir pembangunan berkelanjutan yang telah ditetapkan oleh negara tersebut (UNFCCC,2001).

## **2.7 Trend analysis**

Analisis trend merupakan model trend umum untuk data time series dan untuk meramalkan. Analisis trend adalah analisis yang digunakan untuk

mengamati kecenderungan data secara menyeluruh pada suatu kurun waktu yang cukup panjang.

Trend dapat dipergunakan untuk meramalkan kondisi apa data di masa mendatang, maupun dapat dipergunakan untuk memprediksi data pada suatu waktu dalam kurun waktu tertentu. Beberapa metode yang dapat dipergunakan untuk memodelkan tren, diantaranya model linear (*linear Model*), model kuadrat (*Quadratic Model*), model pertumbuhan eksponensial (*Exponential Growth Model*) dan model kurva-S (*S-Curve Model*).

Ukuran kebaikan model ditunjukkan oleh besarnya nilai MAPE, MAD dan MSD. Semakin kecil nilai MAPE menunjukkan bahwa model yang digunakan semakin akurat. Sehingga model tersebut secara statistis semakin cocok untuk digunakan. Untuk menggunakan trend analisis, ada beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu:

- a. Data mempunyai nilai tren yang relatif konstan.
- b. Data yang dimiliki tidak mengandung unsur musiman.
- c. Data tidak digunakan untuk meramalkan dalam jangka waktu yang cukup panjang.

Macam – macam trend adalah sebagai berikut

1. Tipe Model Linear (Linear Model)

Trend linier adalah suatu trend yang kenaikan atau penurunan nilai yang akan diramalkan naik atau turun secara linier. Analisis Trend yang digunakan secara umum untuk model trend linier adalah :

dimana  $\beta_1$  menunjukkan perubahan rata-rata dari periode satu ke periode berikutnya.

2. Tipe Model Kuadratik (Quadratic Model)

Trend parabolik (kuadratik) adalah trend yang nilai variabel tak bebasnya naik atau turun secara linier atau terjadi parabola bila datanya dibuat scatter plot (hubungan variabel dependen dan independen adalah kuadratik). Analisis Trend yang digunakan secara umum untuk model trend kuadratik adalah :

3. Tipe Model Eksponensial (Exponential Growth Model)

Trend eksponensial ini adalah sebuah trend yang nilai variabel tak bebasnya naik secara berlipat ganda atau tidak linier. Analisis Trend yang digunakan secara umum untuk model trend pertumbuhan eksponensial adalah :

4. Tipe Model Kurva-S (S-Curve Models)

Trend model kurva S digunakan untuk model trend logistik Pearl Reed. Trend ini digunakan untuk data runtun waktu yang mengikuti kurva bentuk S. Analisis Trend yang digunakan secara umum untuk model kurva S adalah:

$$Y_t = (10^a) / (\beta_0 + \beta_1 \beta_2^t)$$

## 2.8 Penelitian Terdahulu CH<sub>4</sub>

Penelitian mengenai perhitungan emisi CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> dimana diantaranya menkorversi emisi tersebut ke energi listrik serta mereduksi emisi CH<sub>4</sub> telah dilakukan beberapa peneliti, diantaranya :

1. Penelitian yang dilakukan Wati (2011) mengenai pola dari penggunaan tangki septik masyarakat Kota Surabaya bagian Selatan serta menghitung besarnya kontribusi yang ada dalam tangki septik terhadap pemanasan global.
2. Penelitian yang dilakukan Finarta (2011) mengenai studi pola penggunaan tangki septik oleh masyarakat di Kota Surabaya bagian Utara dan menghitung besaran kontribusi yang ada dalam tangki septik terhadap pemanasan global.
3. Penelitian yang dilakukan El Haq dkk (2009) mengenai potensi tinja manusia sebagai penghasil biogas dimana dilakukan perbandingan pengadukan terhadap tinja manusia tersebut untuk diketahui jumlah pengadukan mana yang memiliki potensi biogas yang lebih cepat.
4. Penelitian yang dilakukan Basri D (2016) mengenai prediksi emisi karbondioksida dan metana serta potensi energi listrik dari aktivitas domestik dan non domestik di Surabaya Selatan.

5. Jurnal yang dilakukan Mulyani T dkk (2015) mengenai Eco-Development menuju MDGs.

## **2.9 Penelitian Terdahulu CDM**

1. Penelitian yang dilakukan Waskito (2011) mengenai kajian pemanfaatan limbah peternakan berupa *feses* dan *urine* di peternakan sebagai bahan baku biogas, kemudian mengkorelasi kapasitas energi listrik dari PLT Biogas yang dapat dibangkitkan serta kajian terhadap nilai karbon yang dapat diturunkan oleh pembangkit listrik tersebut jika diajukan sebagai proyek CDM (*Clean Development Mechanism*).

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

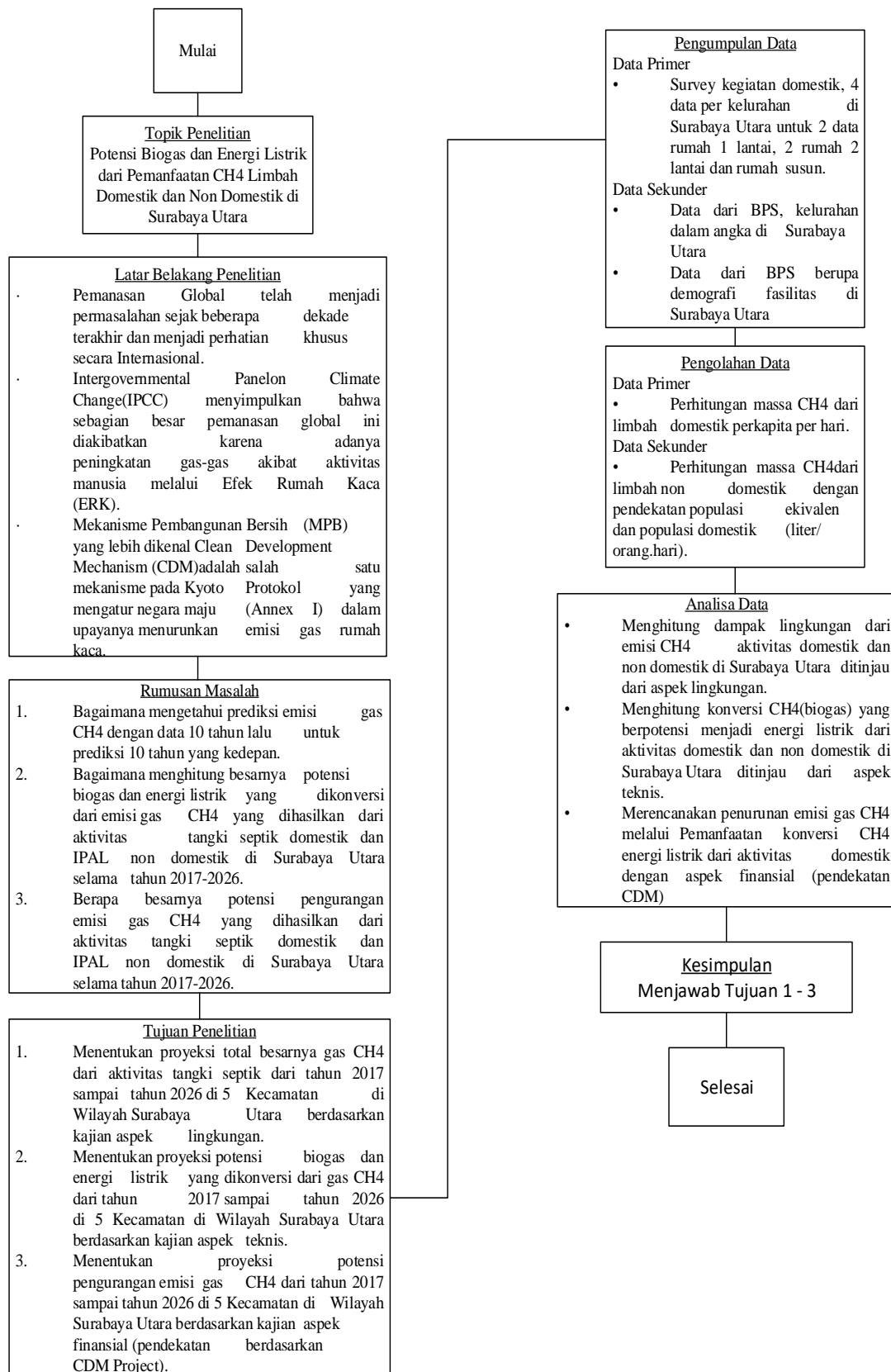
#### **1.1 Kerangka Penelitian**

Penelitian direncanakan untuk dilakukan dalam beberapa tahapan pengerjaan. Untuk membantu mengarahkan penelitian maka dibutuhkan kerangka penelitian untuk menjabarkan batasan perihal yang berhubungan dengan penelitian. Tujuan dari dibuat kerangka penelitian adalah :

1. Mengetahui gambaran besar dari rangkaian penelitian sehingga dapat ditentukan langkah awal dan tahapan seterusnya dalam rangkaian penelitian.
2. Membantu pelaksanaan penelitian untuk mengetahui batasan penelitian sehingga tahapan pengerjaan bisa menjadi lebih sistematis dalam penelitian.

Setiap tahap yang dijabarkan kerangka penelitian kemudian dituangkan dalam bentuk metodologi penelitian dengan format diagram alir sebagai pedoman pelaksanaan penelitian. Diagram alir dari kerangka penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.





**Gambar 3. 1 Diagram Tahapan Penelitian**

## **1.2 Metode Aspek Lingkungan**

Metoda ini bertujuan merinci cara perhitungan dampak lingkungan dari emisi gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan oleh domestik dan non domestik. Untuk itu diperlukan metoda pengumpulan data, pengolahan data dan kajian perhitungan dampak lingkungan yang di uraikan sebagai berikut:

### **3.2.1 Metode Pengumpulan Data**

Pengumpulan data primer ini dilakukan dengan cara survey menggunakan kuesioner untuk menghasilkan jumlah populasi domestik dan non domestic lewat pendekatan populasi ekivalen. Adapun tahap pengambilan data primer ini yaitu:

#### **a. Penentuan area lokasi survey populasi domestic dan non domestik**

Dimana lokasi survey diadakan di Surabaya Utara. Dilakukan dengan cara mengambil subjek bukan didasarkan atas strata atau wilayah atau random tapi didasarkan atas adanya pertimbangan dan tujuan tertentu, didapatkan dua lokasi responden dari 24 Kelurahan wilayah yang akan dijadikan tempat penyebaran kuesioner. Langkah-langkah penentuan lokasi responden tiap kelurahan pertiap kecamatan dari tiap wilayah yaitu dipilih satu tipe rumah dua lantai dan satu tipe rumah satu lantai serta apartemen. Dimana setiap rumah yang dipilih telah dihuni minimal 5 tahun dan merupakan penghuni tetap atau tidak berpindah-pindah.

#### **b. Pengumpulan Data Sekunder**

Data sekunder adalah data-data penunjang penelitian yang tidak didapatkan pada penelitian di wilayah studi. Melainkan didapatkan pada instansi-instansi yang terkait dalam penelitian ini, karena data ini dapat digunakan sebagai data awal penelitian serta sebagai pendukung atau acuan pendukung dalam melakukan analisa. Data Sekunder yang digunakan antara lain :data demografi penduduk tahun terakhir yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik Kota Surabaya berupa data demografi jumlah fasilitas umum atau fasilitas penunjang tahun terakhir yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik Kota Surabaya atau observasi langsung di lapangan, mencakup :

- a. Perkantoran,
- b. Rumah Sakit,
- c. Pertokoan,
- d. Rumah Makan,
- e. Pasar Modern / Mall,dan
- f. Hotel

### **1.2.2 Metode Pengolahan Data**

Dari fasilitas umum yang telah dikumpulkan, dicari jumlah pemakaian airnya dengan melihat rekening air pada fasilitas umum tersebut untuk mencari liter perhari dengan pendekatan populasi ekivalen ( $m^3$ /orang.hari). Pengolahan data selengkapnya untuk aspek lingkungan adalah sebagai berikut:

- a. Data populasi total penduduk 24 kelurahan di wilayah Surabaya Utara selama 10 tahun yang lampau dilakukan prediksi selama 10 tahun kedepan dengan metode trend analysis. Selain itu dihitung rata- rata orang/KK di wilayah Surabaya Utara dengan cara membagi jumlah populasi dengan jumlah KK.
- b. Data pemakaian air bersih yang berasal dari data PDAM dan nomor pelanggan PDAM merupakan data primer yang didapat dari perhitungan pemakaian air tiap bulan berdasarkan nomer pelanggan. Data tersebut diambil dengan metode purposive sample. Menurut Arikunto (2006) purposive sample adalah metode pengambilan data atau sample yang dilakukan dengan cara mengambil subjek bukan didasarkan atas strata atau wilayah atau random tetapi didasarkan atas adanya pertimbangan dan tujuan tertentu, seperti: keterbatasan waktu, tenaga, dan dana sehingga tidak dapat diambil.
- c. Data 98 responden KK domestik telah di printout pemakaian airnya selama 12 bulan tahun 2016 dan telah dihitung pemakaian rata-rata setiap bulan dan setiap harinya. Dengan membagi rata-rata pemakaian air perhari dengan rata-rata jumlah orang per KK telah diperoleh pemakaian air rata-rata domestik dalam liter/orang/hari.

- d. Data 49 responden unit non domestik telah diprintout pemakaian airnya selama 12 bulan tahun 2016 dan telah dihitung pemakaian rata-rata setiap bulan dan setiap harinya. Telah diperoleh pemakaian air rata-rata non domestik dalam liter/unit/hari.
- e. Untuk data primer, dilakukan perhitungan hasil (tabulasi data) dengan menggunakan *program excel* dan *program MiniTab 16* sehingga dapat diperoleh pola penggunaan air bersih ( $\text{m}^3/\text{orang.hari}$ ) yang 70% adalah air limbah dari aktivitas domestik di Wilayah Surabaya Utara.
- f. Untuk data sekunder, dilakukan perhitungan populasi ekivalen non domestik berupa data air limbah dari kantor, rumah makan, rumah sakit, pasar modern / mall, toko dan hotel.

### **3.2.3 Metode kajian aspek lingkungan**

Metode Kajian Proyeksi peningkatan dampak pembuangan limbah berdasarkan beban pencemaran air limbah domestik dan non domestik dikaitkan dengan emisi gas  $\text{CH}_4$  yang dihasilkan dari Tangki Septik kegiatan domestik dan non domestik. Proyeksi Emisi gas  $\text{CH}_4$  ini termasuk dalam emisi gas rumah kaca. Oleh sebab itu perhitungan jumlah emisi  $\text{CH}_4$  dikaji dalam 2 metode, yaitu:

1. Metode kajian berdasarkan proyeksi gas  $\text{CH}_4$  dari proyeksi populasi
2. Berdasarkan Proyeksi Populasi dapat dihitung Proyeksi Emisi  $\text{CH}_4$  memakai metode dari IPCC (2006), yang metodenya seperti diperlihatkan pada 3 gambar berikut ini.

Sector	Waste			
Category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge			
Category Code	4D1			
Sheet	1 of 3 Estimation of Organically Degradable Material in Domestic Wastewater			
STEP 1				
Region or City	A	B	C	D
	Population	Degradable organic component	Correction factor for industrial BOD discharged in sewers	Organically degradable material in wastewater
	(P)	(BOD)	(I) <sup>2</sup>	(TOW)
	cap	(kg BOD/cap.yr) <sup>1</sup>		(kg BOD/yr)
				D = A x B x C
Indonesia	218,868,791	14.6	1	3,195,484,349
Total				3,195,484,349
1 g BOD/cap.day x 0.001 x 365 = kg BOD/cap.yr				
2 Correction factor for additional industrial BOD discharged into sewers, (for collected the default is 1.25, for uncollected the default is 1.00).				

**Gambar 3. 2** Estimasi materi yang terdegradasi secara organik di IPAL

Sector	Waste		
Category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge		
Category Code	4D1		
Sheet	2 of 3 Estimation of CH <sub>4</sub> emission factor for Domestic Wastewater		
STEP 2			
Type of treatment or discharge	A	B	C
	Maximum methane producing capacity	Methane correction factor for each treatment system	Emission factor
	(B <sub>0</sub> ) (kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)	(MCF)	(EF) (kg CH <sub>4</sub> /kg BOD) C = A x B
Untreated System			
Sea, river, lake discharge	0.6	0.1	0.06
Stagnant sewer	0.6	0.5	0.3
Flowing sewer (open/closed)	0.6	0	0
Treated System			
centralized, aerobic treatment plant	0.6	0	0
centralized, aerobic treatment plant (not well managed)	0.6	0.3	0.18
Anaerobic digester for sludge	0.6	0.8	0.48
Anaerobic shallow lagoon	0.6	0.8	0.48
Anaerobic deep lagoon	0.6	0.2	0.12
Septic system	0.6	0.5	0.3
Latrine (dry climate, ground water table lower than latrine, small family 3-5 persons)	0.6	0.1	0.06
Latrine (dry climate, ground water table lower than latrine, communal)	0.6	0.5	0.3
Latrine (wet climate/flush water use, ground water table higher than latrine)	0.6	0.7	0.42
Latrine (regular sediment removal for fertilizer)	0.6	0.1	0.06

**Gambar 3. 3 Estimasi faktor emisi CH<sub>4</sub> untuk IPAL**

Sector		Waste							
Category		Domestic Wastewater Treatment and Discharge							
Category Code		4D1							
Sheet		3 of 3 Estimation of CH <sub>4</sub> emissions from Domestic Wastewater							
STEP 3									
Income group	Type of treatment or discharge pathway	A Fraction of population income group  (U <sub>i</sub> )  (fraction)	B Degree of utilization  (T <sub>i</sub> )  (fraction)	C Emission Factor  (EF <sub>i</sub> )  (kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)  Sheet 2 of 3	D Organically degradable material in wastewater  (TOW)  (kg BOD/yr)  Sheet 1 of 3	E Sludge removed  (S)  (kg BOD/yr)	F Methane recovered and flared  (R)  (kg CH <sub>4</sub> /yr)	G Net methane emissions  (CH <sub>4</sub> )  (kg CH <sub>4</sub> /yr)  $G = [(A \times B \times C) \times (D - E)] - F$	H Net methane emissions  (CH <sub>4</sub> )  (Gg CH <sub>4</sub> /yr)
Rural	Septic tank	0.54	0.11	0.30					
	Latrine	0.54	0.20	0.06					
	Other	0.54	0.35	0.06					
	Sewer	0.54	0.00	0.30					
	None	0.54	0.34	0.00					
Urban high income	Septic tank	0.12	0.88	0.30					
	Latrine	0.12	0.03	0.06					
	Other	0.12	0.05	0.06					
	Sewer	0.12	0.04	0.06					
	None	0.12	0.00	0.00					
Urban low income	Septic tank	0.34	0.80	0.30					
	Latrine	0.34	0.10	0.06					
	Other	0.34	0.07	0.06					
	Sewer	0.34	0.01	0.06					
	None	0.34	0.02	0.00					
Total									

**Gambar 3. 4 Estimasi emisi CH<sub>4</sub> dari limbah cair domestik**

### **3.3. Metode Aspek Teknis**

#### **3.3.1. Metode pengumpulan data**

Data primer adalah data yang diperoleh dengan melakukan penelitian oleh peneliti sendiri, data primer ini mencakup:

- a. Data pemakaian air domestik dan non domestik dari rekening PDAM
- b. Hasil perhitungan jumlah air limbah yang dihasilkan
- c. Hasil perhitungan emisi  $\text{CH}_4$  dari tangki septik

Data sekunder merupakan data BPS (Badan Pusat Statistik) berupa jumlah Rumah Susun, Perkantor, Pertokoan, Rumah Sakit, Pasar Modern / Mall, Rumah Makan dan Hotel.

#### **3.3.2. Metode pengolahan data**

Metode pengolahan data dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

- a. Data domestik apartemen di hitung dalam populasi per lantai agar bisa dihitung potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari tangki septik.
- b. Dengan membagi pemakaian air non domestik dalam l/unit/hari dengan pemakaian air domestik dalam l/orang/hari akan diperoleh populasi ekuivalen untuk setiap unit non domestik dalam satuan orang. Hasil ini kemudian digunakan untuk menghitung populasi ekuivalen total dan prediksi selama 10 tahun dari seluruh fasilitas non domestik di wilayah Surabaya utara.
- c. Telah dilakukan perhitungan emisi gas  $\text{CH}_4$  dari aktivitas domestik dan non domestik dengan mengalikan populasi prediksi dengan massa  $\text{CH}_4$  total 20,72 gram/orang.hari.
- d. Perhitungan besarnya proyeksi 10 tahun dari biogas yang berasal dari gas  $\text{CH}_4$  dari tangki septik domestik dan non domestik.
- e. Perhitungan besarnya proyeksi 10 tahun dari potensi energi listrik yang berasal dari tangki septik domestik dan non domestik.

### **3.3.3. Metode kajian aspek Teknis**

- Metode perhitungan potensi energi listrik dari hasil emisi gas rumah kaca Metana ( $\text{CH}_4$ ) yang dihasilkan dari aktivitas domestik dan non domestik bersumber dari Bent (2007).
- 1 Kg gas metana setara dengan  $6,13 \times 10^7$  J, sedangkan 1 kWh setara dengan  $3,6 \times 10^6$  J. Untuk massa jenis gas metana  $0,656 \text{ kg/m}^3$  sehingga  $1 \text{ m}^3$  gas metana menghasilkan energi listrik sebesar 11,17 kWh.

### **3.4. Metode Aspek Finansial**

#### **3.4.1. Metode pengumpulan data**

Data primer adalah data yang diperoleh dengan melakukan penelitian oleh peneliti sendiri, data primer ini mencakup:

- Hasil perhitungan emisi  $\text{CH}_4$  dari tangki septik dari populasi dan IPCC

Data sekunder merupakan data BPS (Badan Pusat Statistik) berupa jumlah Rumah Susun, Rumah susun beserta sistem plumbingnya.

#### **3.4.2. Metode pengolahan data**

Metode pengolahan data dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

- Data domestik apartemen di hitung dalam populasi per lantai agar bisa dihitung potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari tangki septik.
- Dengan membagi pemakaian air non domestik dalam l/unit/hari dengan pemakaian air domestik dalam l/orang/hari akan diperoleh populasi ekivalen untuk setiap unit non domestik dalam satuan orang. Hasil ini kemudian digunakan untuk menghitung populasi ekivalen total dan prediksi selama 10 tahun dari seluruh fasilitas non domestik di wilayah Surabaya utara.
- Telah dilakukan perhitungan emisi gas  $\text{CH}_4$  dari aktivitas domestik dan non domestik dengan mengalikan populasi prediksi dengan massa  $\text{CH}_4$  total 20,72 gram/orang.hari.
- Perhitungan besarnya proyeksi 10 tahun dari biogas yang berasal dari gas  $\text{CH}_4$  dari tangki septik domestik dan non domestik.



- Perhitungan besarnya proyeksi 10 tahun dari potensi energi listrik yang berasal dari tangki septik domestik dan non domestik.

#### **3.4.3. Metode kajian aspek Finansial**

- Metode proyeksi potensi pengurangan emisi gas CH<sub>4</sub> dari tahun 2017 sampai tahun 2026 di 5 Kecamatan di Wilayah Surabaya Utara berdasarkan kajian aspek finansial
- Metode pendekatan aspek finansial berdasarkan CDM Project untuk Rumah Susun dengan aplikasi energi gas bio dan energi listrik

### **3.5 Kesimpulan dan Saran**

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan telah dibuat suatu kesimpulan dan saran terkait ringkasan dari hasil penelitian tentang potensi biogas dan energi listrik dari pemanfaatan CH<sub>4</sub> dari limbah cair domestik dan non domestik di Surabaya Utara, dan menjawab rumusan masalah pada penelitian tersebut. Saran diberikan guna referensi perbaikan penelitian dan pelaksanaan penelitian lebih lanjut.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1.1 Aspek Lingkungan

##### 4.1.2 Proyeksi Penduduk Surabaya Utara

Surabaya Utara terdiri dari Kecamatan Bulak, Kenjeran, Semampir, Pabean Cantikan, dan Krembangan. Berdasarkan Badan Pusat Statistik tahun 2016, jumlah penduduk Surabaya Utara pada tahun 2007 adalah 564062. Jumlah penduduk Surabaya Utara semakin meningkat dengan rata-rata peningkatan 1.4% setiap tahun pada tahun 2016 jumlah penduduk sebanyak 638939. Adapun data jumlah penduduk Surabaya Utara dari 2007 sampai 2016 terdapat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1 Populasi Penduduk di Surabaya Utara**

<b>Tahun</b>	<b>Jumlah Penduduk</b>
2007	564062
2008	564062
2009	567951
2010	575229
2011	578229
2012	581181
2013	588625
2014	599761
2015	621307
2016	638939

Berdasarkan data populasi penduduk yang terdapat pada tabel 4.1 selanjutnya untuk mengetahui populasi penduduk tahun 2017 sampai dengan tahun 2026. Hasil proyeksi penduduk Surabaya Utara tahun 2017 sampai 2026 disajikan pada tabel 4.2.

**Tabel 4. 2 Proyeksi Penduduk Surabaya Utara**

<b>Tahun</b>	<b>Jumlah Penduduk</b>
	(jiwa)
2017	655,710

Tahun	Jumlah Penduduk
	(jiwa)
2018	672,482
2019	689,253
2020	706,024
2021	722,796
2022	739,567
2023	756,338
2024	773,110
2025	789,881
2026	806,652

Dari tabel 4.2 proyeksi penduduk selama 10 tahun mendatang dengan metode pendekatan lest square dengan rata – rata pertambahan penduduk Surabaya utara 2,13 %

#### 4.1.3 Persamaan Regresi dan Prediksi 10 Tahun Emisi Gas CH<sub>4</sub>

Perhitungan persamaan regresi dan prediksi selama 10 tahun emisi gas CH<sub>4</sub> dilakukan dengan 2 perhitungan pendekatan, yaitu pendekatan populasi penduduk dan pendekatan IPCC.

Perhitungan pendekatan populasi penduduk dengan perhitungan hasil populasi pada tabel 4. yang dapat dihitung hasil emisi gas CH<sub>4</sub> selama 10 tahun yaitu tahun 2007 hingga 2016, untuk memprediksi 10 tahun mendatang.

**Tabel 4. 3 Populasi Domestik**

Tahun	Populasi (orang)
2013	4700.00
2014	5100.00
2015	5550.00
2016	6000.00

Tabel 4.3 diatas, populasi pada rumah susun dianggap sama dengan pertambahan penduduk Surabaya utara dengan pertambahan 1.08%. adapun perhitungan sebagai berikut:

### **Populasi Domestik**

Tahun : 2013

Rata-rata penghuni : 2350 orang

Jumlah Appartemen dan Rumah Susun :

Maka populasi domestik yang didapatkan dari pada tahun 2013 adalah sebagai berikut :

**Populasi Domestik = Rata-rata penghuni x Jumlah Rumah Susun di Surabaya Timur**

$$= 2129.6 \times 2$$

$$= 4700 \text{ orang}$$

Perhitungan yang sama dihitung sampai tahun 2016. Sedangkan massa CH<sub>4</sub> total tangki septik dapat dihitung dengan massa CH<sub>4</sub> total tangki septik yang merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh Wati (2011). Perhitungan tersebut adalah sebagai berikut :

### **Massa CH<sub>4</sub>**

Populasi Domestik : 4700 orang

Massa CH<sub>4</sub> (Wati, 2011) : 21.296 gram/orang.hari

: 0.021 kg/orang.hari

Maka massa CH<sub>4</sub> total tangki septik yang akan digunakan dalam menghitung emisi CH<sub>4</sub> adalah sebagai berikut :

**Massa CH<sub>4</sub> = Populasi Domestik x Massa CH<sub>4</sub>**

$$= 4700 \text{ orang} \times 0.021 \text{ kg/orang.hari}$$

$$= 98.7 \text{ kg/hari}$$

Untuk mendapatkan hasil massa CH<sub>4</sub> selama 1 tahun, maka hasil nya dikalikan dengan 365.

Massa CH<sub>4</sub> = 98.7 kg/hari x 365 hari

$$= 36025.5 \text{ kg/tahun}$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan massa CH<sub>4</sub> total emisi pada tangki septik untuk kegiatan domestik. Sehingga didapatkan hasil emisi CH<sub>4</sub> total gas metana yang terdapat didalam tangki septik seperti perhitungan dibawah ini :

#### **Emisi CH<sub>4</sub> Domestik**

Massa CH<sub>4</sub> : 36025.5 kg/tahun

Massa Jenis CH<sub>4</sub> : 0.656 kg/m<sup>3</sup>

Maka emisi CH<sub>4</sub> total (m<sup>3</sup>/tahun) untuk tahun 2013 adalah sebagai berikut :

**Emisi CH<sub>4</sub> = Massa CH<sub>4</sub> : Massa Jenis CH<sub>4</sub>**

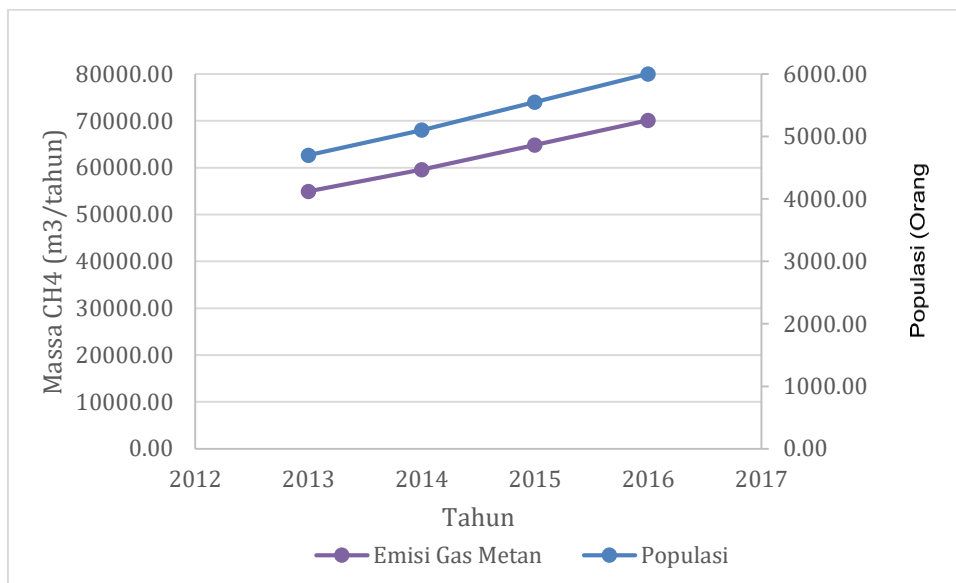
= 36025.5 kg/tahun x 0.656 kg/m<sup>3</sup>

= 54916.92 m<sup>3</sup>/tahun

Perhitungan yang sama dilakukan untuk tahun 2014 – 2016. Hasil perhitungan emisi gas metana domestic pada table 4.4.

**Tabel 4. 4 Emisi Gas Metana Domestik**

Tahun	Populasi (orang)	Massa CH <sub>4</sub> (Kg/tahun)	Massa CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /tahun)
2013	4700.00	36025.50	54916.92
2014	5100.00	39091.50	59590.70
2015	5550.00	42540.75	64848.70
2016	6000.00	45990.00	70106.71



**Gambar 4. 1 Hubungan populasi terhadap Emisi Gas CH<sub>4</sub>**

Berdasarkan gambar diatas pendekatan populasi berbanding lurus dengan emisi gas metana yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya penduduk maka emisi gas metana yang dihasilkan semakin bertambah.

Perhitungan pendekatan menggunakan IPCC dengan 3 tahap pendekatan dari populasi ekivalen data tahun 2007 hingga 2016, untuk perhitungan estimasi materi yang terdegradasi secara organik di IPAL domestik. Tahapan kedua adalah estimasi faktor emisi CH<sub>4</sub> untuk IPAL domestik dan tahapan ketiga yaitu estimasi emisi CH<sub>4</sub> dari limbah cair domestik.

Tahap pertama dari pendekatan IPCC adalah perhitungan estimasi materi yang terdegradasi secara organik di IPAL domestik dapat di lihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4. 5 Estimasi Materi yang Terdegradasi Domestik**

Sektor	Limbah			
Kategori	IPAL domestik			
Kode Kategori	4D1			
Lembar	1 dari 3 Estimasi materi yang terdegradasi secara organik di IPAL domestik			
STEP 1				
Tahun	A	B	C	D
	Penduduk	Komponen organik terdegradasi	Faktor koreksi untuk BOD industri yang masuk ke IPAL domestik, jika masuk = 1,25 jika tidak =1.	Materi organik terdegradasi di dalam IPAL
	(P)	(BOD)	(I)	(TOW)
	orang	(kg BOD/orang.tahun)		(kg BOD/tahun)
				D = A x B x C
2013	4700	14.6	1	68,620
2014	5100	14.6	1	74,460
2015	5550	14.6	1	81,030
2016	6000	14.6	1	87,600
Total				243,090
Catatan: g BOD/orang.hari x 0.001 x 365 = kg BOD/orang.tahun				
Komponen organik terdegradasi = 40 g/orang.hari				

Tabel 4.5 Estimasi materi yang terdegradasi secara organik di IPAL domestik sebesar 68620 kg BOD/tahun didapatkan dari perhitungan tahun 2013 Populasi penduduk yang sudah di ekivalen dikalikan dengan Komponen organik terdegradasi (BOD) sebesar 14.6 kg yang berasal dari penelitian terdahulu Rismawati, 2017, kemudian faktor koreksi untuk BOD industri yang masuk ke IPAL domestik bernilai 1.25 dan jika tidak maka nilainya 1, maka dari kondisi lapangan maka factor yang digunakan adalah 1.

Tahapan kedua dari pendekatan IPCC adalah estimasi faktor emisi  $\text{CH}_4$  untuk IPAL domestik dari tahun 2007 hingga 2016 dengan faktor emisi yang digunakan adalah Badan air, IPAL aerob terpusat (tidak dikelola dengan baik), dan tangki septik. Selanjutnya Faktor emisi (EFi) didapatkan dari perkalian kapasitas produksi  $\text{CH}_4$  (B0) dengan faktor koreksi gas metana untuk tiap sistem (MCFj), dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Estimasi Faktor Emisi CH<sub>4</sub>

Sektor	Limbah		
Kategori	IPAL domestik		
Kode Kategori	4D1		
Lembar	2 dari 3 Estimasi faktor emisi CH4 untuk IPAL domestik		
STEP 2			
Jenis pengolahan	A	B	C
	Kapasitas produksi CH4 maksimum (B <sub>0</sub> ) (kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)	Faktor koreksi gas metana untuk tiap sistem pengolahan (MCF <sub>i</sub> )	Faktor emisi (EF <sub>i</sub> ) (kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)
			C = A x B
<b>Sistem tidak terolah</b>			
Dibuang ke laut, sungai dan danau	0.6	0.1	0.06
Saluran (sewer) yang stagnan	0.6	0.5	0.3
Sewer yang mengalir (saluran terbuka atau tertutup)	0.6	0	0
<b>Sistem terolah</b>			
IPAL aerob terpusat	0.6	0	0
IPAL aerob terpusat (tidak dikelola baik)	0.6	0.3	0.18
Anaerobik digester untuk pengolahan lumpur	0.6	0.8	0.48
Laguna (lagoon) anaerob dangkal	0.6	0.8	0.48
Laguna (lagoon) anaerob dalam	0.6	0.2	0.12
Sistem septik (tangki septik)	0.6	0.5	0.3
Latrine/cubluk (iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari latrine, keluarga kecil 3-5 orang)	0.6	0.1	0.06
Latrine/cubluk (iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari latrine, komunal)	0.6	0.5	0.3
Latrine/cubluk (iklim basah/menggunakan air bilasan, muka air tanah lebih tinggi dari latrine)	0.6	0.7	0.42
Latrine/cubluk (pemanfaatan sedimen untuk pupuk secara reguler)	0.6	0.1	0.06

Tabel 4.6 Estimasi faktor emisi CH<sub>4</sub> seperti diatas dimana rusunawa menggunakan sistem septik secara terpusat dengan nilai 0.3 dan sering terjadinya kebocoran yang pada akhirnya dibuang ke badan air maka di pertimbangkan persentasenya 0.06 tingkat penggunaannya sedangkan untuk apartemen menggunakan IPAL aerob terpusat (tidak dikelola dengan benar) dengan nilai 0.18.

Tahapan ketiga dari pendekatan IPCC adalah estimasi emisi CH<sub>4</sub> dari limbah cair domestik dengan perhitungan emisi CH<sub>4</sub> = [(U<sub>I</sub> x T<sub>U</sub> x EF<sub>I</sub>) x (TOW – S)] – R. Dimana, U<sub>I</sub> = Fraksi grup income

T<sub>U</sub> = Tingkat penggunaan



$EF_j$  = Faktor emisi

TOW = Materi organik terdegradasi di limbah cair

S = Lumpur yang diambil (Sludge removed)

R = Gas metana yang *direcovery* dan dibakar

Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

**Tabel 4. 7 Estimasi Emisi CH<sub>4</sub> Dari Limbah Cair Domestik**

TAHUN 2013									
Sektor	Limbah								
Kategori	IPAL domestik								
Kode Kategori	4D1								
Lembar	3 dari 3 Estimasi emisi CH <sub>4</sub> dari limbah cair domestik								
STEP 3									
Grup income	Jenis pengolahan	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraksi grup income	Tingkat penggunaan	Faktor emisi	Materi organik terdegradasi di limbah cair	Lumpur yang diambil (sludge removed)	Gas metana yang direcovery dan dibakar	Emisi gas metana (Net)	Emisi gas metana (Net)
		(U <sub>j</sub> )	(T <sub>j</sub> )	(EF <sub>j</sub> )	(TOW)	(S)	(R)	(CH <sub>4</sub> )	(CH <sub>4</sub> )
		(fraksi)	(fraksi)	(kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)	(kg BOD/tahun)	(kg BOD/tahun)	(kg CH <sub>4</sub> /tahun)	(kg CH <sub>4</sub> /yr)	(Gg CH <sub>4</sub> /yr)
				Lembar 2 dari 3	Lembar 1 dari 3			$G = [(A \times B \times C) \times (D - E)] - F$	
Pedesaan	Tangki septik	0.12	0.30	0.30	68,620			741	0.0
	Latrine/cubluk	0.12	0.17	0.06	68,620			84	0.0
	Badan Air	0.12	0.00	0.06	68,620			-	-
	Saluran/Sewer	0.12	0.10	0.30	68,620			247	0.0
	None	0.12	0.43	0.00	68,620			-	-
Perkotaan pendapatan tinggi	Tangki septik	0.34	0.74	0.30	68,620			5,179	0.0
	Latrine/cubluk	0.34	0.08	0.06	68,620			112	0.0
	Badan Air	0.34	0.00	0.06	68,620			-	-
	Saluran/Sewer	0.34	0.18	0.30	68,620			1,260	0.0
	None	0.34	0.00	0.00	68,620			-	-
Perkotaan pendapatan rendah	Tangki septik	0.54	0.53	0.30	68,620			5,892	0.0
	Latrine/cubluk	0.54	0.10	0.06	68,620			222	0.0
	Badan Air	0.54	0.03	0.06	68,620			67	0.0
	Saluran/Sewer	0.54	0.20	0.30	68,620			2,223	0.0
	None	0.54	0.14	0.00	68,620			-	-
Total								16,027	0.0

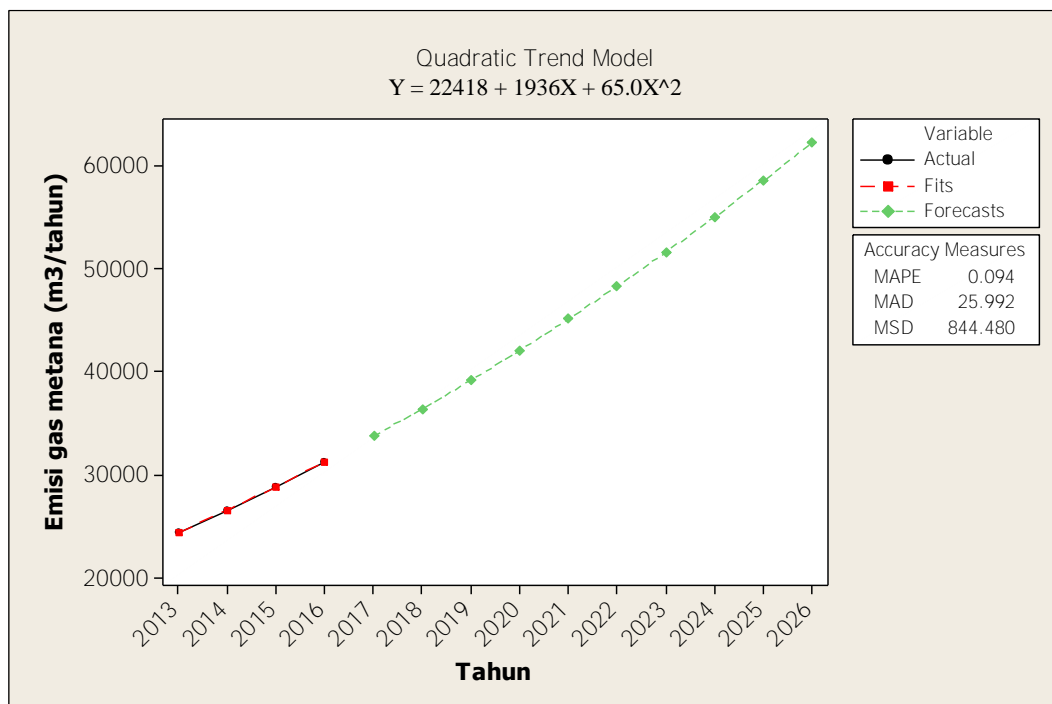
Tabel 4.7 diatas dimana pada tahun 2013, fraksi grup income untuk pedesaan nilainya 0.12, perkotaan dengan pendapatan tinggi nilainya 0.34 dan untuk perkotaan pendapatan rendah nilainya 0.54. Tingkat penggunaan adalah jenis presentase pengolahan yang dilakukan masing-masing. Pekotaan dengan pendapatan rendah (Rusunawa) diolah dengan tangki septik 0.86 (86%), sedangkan limbah yang dibuang kebadan air dikarenakan terjadi kebocoran 0.14 (14%). Faktor emisi telah ditentukan pada tahapan estimasi faktor emisi CH<sub>4</sub> untuk IPAL

domestik. Materi organik terdegradasi di limbah cair didapatkan dari estimasi materi yang terdegradasi, sedangkan S dan R tidak ada dikarenakan tidak ada lumpur yang diambil dan *direcovery*. Hasil emisi gas CH<sub>4</sub> pada tahun 2013 adalah 16027 kgCH<sub>4</sub>/tahun atau 0.02 Gg CH<sub>4</sub>/tahun. Hasil dari perhitungan IPCC dapat dilihat pada Tabel 4.8.

**Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Emisi Gas CH<sub>4</sub> IPCC**

Tahun	Emisi gas metana (Net)	Emisi gas metana (Net)
	(kg CH <sub>4</sub> /tahun)	(m <sup>3</sup> /tahun)
2013	16027.44	24432.07
2014	17391.47	26511.39
2015	18926.02	28850.63
2016	20460.56	31189.87

Tabel 4.8 diatas menghasilkan data emisi gas CH<sub>4</sub> tahun 2013 didapatkan 16027.44 kgCH<sub>4</sub>/tahun dan untuk tahun 2016 didapatkan 20460.56 kgCH<sub>4</sub>/tahun. Berdasarkan data tabel 4.8 diprediksi emisi gas CH<sub>4</sub> dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4. 2 Prediksi Emisi Gas CH<sub>4</sub> IPCC**

Gambar 4.2 Prediksi emisi gas CH<sub>4</sub> IPCC selama 10 tahun mendatang, pada tahun 2013 menghasilkan 24432.07 m<sup>3</sup>/tahun dengan hasil prediksi tiap tahunnya meningkat. Hasil persamaan regresi dari gambar diatas adalah  $Y = 22418 + 1936X + 65X^2$ . Berdasarkan persamaan didapat Y adalah emisi gas metana dan X adalah tahun prediksi.

Perhitungan dengan pendekatan perhitungan yang dilakukan diatas hasilnya terdapat perbedaan dengan menunjukkan peningkatan emisi gas metana setiap tahunnya. Dikarenakan pada pendekatan IPCC hasil perhitungan langsung menunjukkan emisi CH<sub>4</sub> yang dihasilkan, jika perhitungan populasi hasilnya harus dikalikan dengan massa gas metana per orang seperti penelitian sebelumnya (Wati, 2011). Selain itu pada perhitungan IPCC banyak faktor yang menjadi pertimbangan diantaranya adalah faktor emisi, faktor pengolahan limbah, faktor BOD.

Non domestik dilakukan juga perhitungan yang sama yaitu dengan menggunakan massa CH<sub>4</sub> dan template IPCC. Dimana populasi ekivalen juga digunakan untuk menghitung emisi CH<sub>4</sub> dengan dua perhitungan tersebut Populasi ekivalen non domestik dapat dilihat pada Tabel 4.9.

**Tabel 4. 9 Populasi Ekivalen Non Domestik**

<b>Tahun</b>	<b>Populasi Ekivalen</b>
2007	57674.16
2008	70669.16
2009	86592.16
2010	106102.89
2011	130009.73
2012	159303.20
2013	195197.00
2014	236620.46
2015	299413.91
2016	355247.20

Massa CH<sub>4</sub> tangki septik dapat dihitung dengan massa CH<sub>4</sub> total tangki septik yang merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh Wati (2011). Contoh perhitungan sebagai berikut:

### **Emisi CH<sub>4</sub> Non Domestik**

Sektor Non Domestik

Tahun	: 2007
Jumlah Non Domestik	: 500 aktivitas
Populasi Ekuivalen	: 57674.16 orang
Rata-rata per aktivitas	: 115 orang
Massa CH <sub>4</sub> (Wati, 2011)	: 21.296 gram/orang.hari

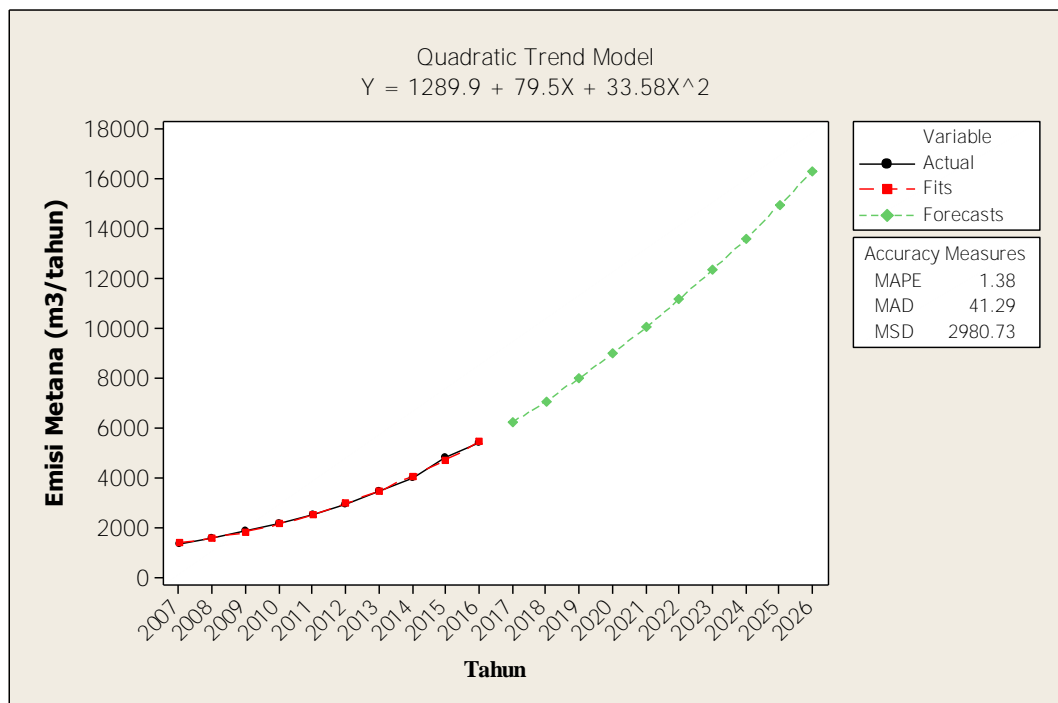
Maka massa CH<sub>4</sub> total tangki septik yang akan digunakan dalam menghitung emisi CH<sub>4</sub> adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Emisi CH}_4 \text{ Non Domestik} &= \text{Rata-rata} \times \text{Massa CH}_4 \\ &= 115 \text{ orang} \times 21.296 \text{ gram/orang.hari} \\ &= 2457.21 \text{ gram/ hari} \\ &= 2457.21 \text{ gram/ hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 896.88 \text{ kg/ tahun} : 0.656 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1367.20 \text{ m}^3/ \text{ tahun}\end{aligned}$$

Perhitungan dilakukan sama untuk tahun 2007 – 2016. Hasil perhitungan emisi gas metana non domestik di lihat pada Tabel 4.10.

**Tabel 4. 10 Emisi Gas Metana Non Domestik**

No	Tahun	Populasi Ekvivalen	Jumlah Unit	Emisi Gas Metana (CH <sub>4</sub> )		
				gr/tahun	kg/tahun	m <sup>3</sup> /tahun
1	2007	57674.16	500	896880.19	896.88	1367.20
2	2008	70669.16	525	1046830.48	1046.83	1595.78
3	2009	86592.16	551	1221851.10	1221.85	1862.58
4	2010	106102.89	578	1426133.60	1426.13	2173.98
5	2011	130009.73	607	1664570.29	1664.57	2537.45
6	2012	159303.20	637	1942871.45	1942.87	2961.69
7	2013	195197.00	669	2267702.05	2267.70	3456.86
8	2014	236620.46	705	2608879.82	2608.88	3976.95
9	2015	299413.91	732	3179448.52	3179.45	4846.72
10	2016	355247.20	777	3553861.87	3553.86	5417.47



**Gambar 4. 3 Prediksi Emisi Gas Metana Non Domestik**

Gambar 4.3 diatas dapat dilihat prediksi kenaikan emisi Gas Metan (CH<sub>4</sub>) selama 10 tahun, dimana pada tahun awal 2007 Emisi Gas Metan yang dihasilkan adalah

1367.20 m<sup>3</sup>/unit.tahun dan meningkat setiap tahunnya. Dari hasil tersebut juga diperoleh persamaan regresi untuk Emisi Gas Metan yaitu  $Y = 1289.9 + 79.5X + 33.58X^2$ . Berdasarkan persamaan tersebut Y adalah emisi gas metana dan X adalah tahun prediksi, dimana untuk tahun 2017 maka nilai X adalah 11, dan seterusnya sampai tahun 2026 adalah X = 20. Contoh perhitungan sebagai berikut :

#### **Prediksi Emisi Gas Metana Tahun 2017**

$$X = 11$$

$$\begin{aligned} Y &= 1289.9 + 79.5X + 33.58X^2 \\ &= 1289.9 + 79.5(11) + 33.58(11)^2 \\ &= 6227.58 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan dilakukan sama untuk tahun 2018 – 2026. Kenaikan gas Metana setiap tahunnya sejalan dengan kenaikan jumlah penduduk dan limbah yang dihasilkan.

Perhitungan emisi gas metana (CH<sub>4</sub>) Non domestik juga dapat dihitung dengan menggunakan IPCC. Dimana, perhitungan menggunakan IPCC diperlukan data populasi ekivalen dari tahun 2007 - 2016 sebagai populasi penduduknya, namun pada pendekatan ini terdapat 3 tahapan perhitungan, yang pertama adalah perhitungan estimasi materi yang terdegradasi secara organik di IPAL domestik seperti pada Tabel 4.11.

**Tabel 4. 11 Tahap Pertama IPCC Non Domestik**

Sector	Waste			
category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge			
category code	4D1			
Sheet	1 of 3 estimation of Organically Degradable Material in Domestic			
STEP 1				
	A	B	C	D
Years	Population	Degradable organic component	Correction factor for industrial BOD discharged in sewers	Organically degradable material in wastewater
	(P) cap	(BOD) (kg BOD/cap.yr)	(I)	(TOW) (kg BOD/yr)
				D = A x B x C
2007	57674.16	14.6	1	842,043
2008	70669.16	14.6	1	1,031,770
2009	86592.16	14.6	1	1,264,246
2010	106102.89	14.6	1	1,549,102
2011	130009.73	14.6	1	1,898,142
2012	159303.20	14.6	1	2,325,827
2013	195197.00	14.6	1	2,849,876
2014	236620.46	14.6	1	3,454,659
2015	299413.91	14.6	1	4,371,443
2016	355247.20	14.6	1	5,186,609
Total				24,773,716
Catatan: g BOD/cap.day x 0.001 x 365 = kg BOD/cap.yr				
correction factor for additional industrial Bod discharged into sewers, (for collected the default is 1,25, for uncollected the default is 1,00)				

Tabel 4.11 dapat diketahui bahwa banyaknya materi organik yang terdegradasi di dalam IPAL pada tahun 2007 sebesar 842043 kgBOD/tahun dan meningkat setiap tahunnya. Didapatkan dari perhitungan Populasi penduduk yang sudah di ekivalen dikalikan dengan Komponen organik terdegradasi (BOD) sebesar 14.6 kg yang berasal dari penelitian terdahulu Rismawati, 2017, kemudian faktor koreksi untuk BOD industri yang masuk ke IPAL domestik bernilai 1.25 dan jika tidak maka nilainya 1, maka dari kondisi lapangan maka factor yang digunakan adalah 1.

Tahapan kedua dari pendekatan IPCC adalah estimasi faktor emisi  $\text{CH}_4$  untuk IPAL dari tahun 2014 hingga 2016 dengan faktor emisi yang digunakan adalah Badan air, IPAL aerob terpusat (tidak dikelola dengan baik), dan tangki septik. Selanjutnya Faktor emisi ( $\text{EF}_i$ ) didapatkan dari perkalian kapasitas produksi

CH<sub>4</sub> (B<sub>0</sub>) dengan faktor koreksi gas metana untuk tiap sistem (MCF<sub>j</sub>), dapat dilihat pada Tabel 4.12.

**Tabel 4. 12 Estimasi Faktor Emisi Non Domestik**

Sector	Waste		
category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge		
category code	4D1		
Sheet	2of 3 Estimation of CH4 emission factor for Domestic Wastewater		
STEP 2			
Type of Treatment of discharge	A	B	C
	Maximum methane producing capacity	Methane correction factor for each treatment system	Emission factor
	(B <sub>0</sub> )	(MCF <sub>j</sub> )	(EF <sub>j</sub> )
	(kg CH <sub>4</sub> /kgBOD)		(kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)
			C = A x B
Untrated System			
sea, river, lake discharge	0.6	0.1	0.06
stagnant sewer	0.6	0.5	0.3
flowing sewer (open/close)	0.6	0	0
Treated System			
centralized aerobic treatment plant	0.6	0	0
centralized aerobic treatment plant (not wellmanaged)	0.6	0.3	0.18
Anaerobic digester for sludge	0.6	0.8	0.48
anaerobic shallow lagoon	0.6	0.8	0.48
Anaerobic deep lagoon	0.6	0.2	0.12
Septic system	0.6	0.5	0.3
Latrine (dry climate, ground water table lower than latrine small family 3-5 persons)	0.6	0.1	0.06
Latrine (dry climate, ground water table lower than latrine, communal)	0.6	0.5	0.3
Latrine (wet climate/ flash water use, ground water table higher than latrine)	0.6	0.7	0.42
Latrine ( regular sediment removal for fertilizer)	0.6	0.1	0.06

Tabel 4.12 Estimasi Faktor Emisi Non Domestik dipilih untuk sistem yang tidak terolah adalah dibuang ke laut, sungai dan danau. Dimana, untuk sistem terolah dipilih sistem tangki septik dan IPAL aerob terpusat, sistem tangki septik dan IPAL aerob terpusat tidak dikelola dengan baik dan sistem tangki septik. Berdasarkan kenyataannya limbah yang dihasilkan aktivitas non domestik ada yang dialirkan ke tangki septik yang terpusat aktivitas non domestik rumah makan, pertokoan, perkantoran, untuk sistem IPAL terpusat aerob biasanya pada aktivitas non domestik rumah sakit, dan untuk sistem IPAL aerob terpusat tidak dikelola dengan benar biasanya terdapat pada aktivitas non domestik mall dan hotel. Pertimbangan kebocoran pipa sehingga limbah yang dihasilkan masuk ke badan air. Jadi untuk faktor emisi (EF<sub>j</sub>) yang digunakan adalah 0.3 untuk tangki septik, 0.06



untuk limbah yang dibuang ke badan air (laut, sungai, dan danau), 0.18 untuk IPAL aerob terpusat tidak dikelola dan 0.00 untuk IPAL aerob terpusat.

Tahapan ketiga pada Tabel 4.13 dari pendekatan IPCC adalah estimasi emisi CH<sub>4</sub> dari limbah cair domestik dengan perhitungan emisi CH<sub>4</sub> = [(U<sub>I</sub> x T<sub>U</sub> x EF<sub>J</sub>) x (TOW – S)] – R. Dimana, U<sub>I</sub> = Fraksi grup income

T<sub>U</sub> = Tingkat penggunaan

EF<sub>J</sub> = Faktor emisi

TOW = Materi organik terdegradasi di limbah cair

S = Lumpur yang diambil (Sludge removed)

R = Gas metana yang *direct recovery* dan dibakar

**Tabel 4. 13 Estimasi Emisi CH<sub>4</sub> dari Limbah Non Domestik**

YEARS 2007									
SeCtor		Waste							
Category		Domestic Wastewater Treatment and Discharge							
category Code		401							
Sheet		3 of 3 Estimation of CH <sub>4</sub> emissions from Domestic Wastewater							
STEP 3									
Grup income	Type of treatment or discharge pathway	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraction of population income group (U <sub>i</sub> )	Degree of utilization (T <sub>i</sub> )	Emission Factor (EF <sub>j</sub> )	Organically degradable material in wastewater (TOW)	Sludge removed (S)	Methane recovered and flared (R)	Net methane emissions (CH <sub>4</sub> )	Net methane emissions (CH <sub>4</sub> )
		(fraction)	(fraction)	(kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)	(kg BOD/yr)	(kg BOD/yr)	(kg CH <sub>4</sub> /yr)	(kg CH <sub>4</sub> /yr)	(Gg CH <sub>4</sub> /yr)
				Sheet 2 of 3	Sheet 1 of 3			$G = [(A \times B \times C) \times (D - E)] - F$	
Rural	Septic tank	0.12	0.00	0.30	842,043			-	-
	Latrine	0.12	0.00	0.18	842,043			-	-
	Other	0.12	0.00	0.06	842,043			-	-
	Sewer	0.12	0.00	0.30	842,043			-	-
	None	0.12	0.00	0.00	842,043			-	-
Urban high income	Septic tank	0.34	0.00	0.30	842,043			-	-
	Latrine	0.34	0.00	0.18	842,043			-	-
	Other	0.34	0.00	0.06	842,043			-	-
	Sewer	0.34	0.00	0.30	842,043			-	-
	None	0.34	0.00	0.00	842,043			-	-
Urban low income	Septic tank	0.54	0.86	0.30	842,043			117,313	0.1
	Latrine	0.54	0.00	0.06	842,043			-	-
	Other	0.54	0.14	0.06	842,043			3,820	0.0
	Sewer	0.54	0.00	0.30	842,043			-	-
	None	0.54	0.00	0.00	842,043			-	-
Total							121,133	0.121	

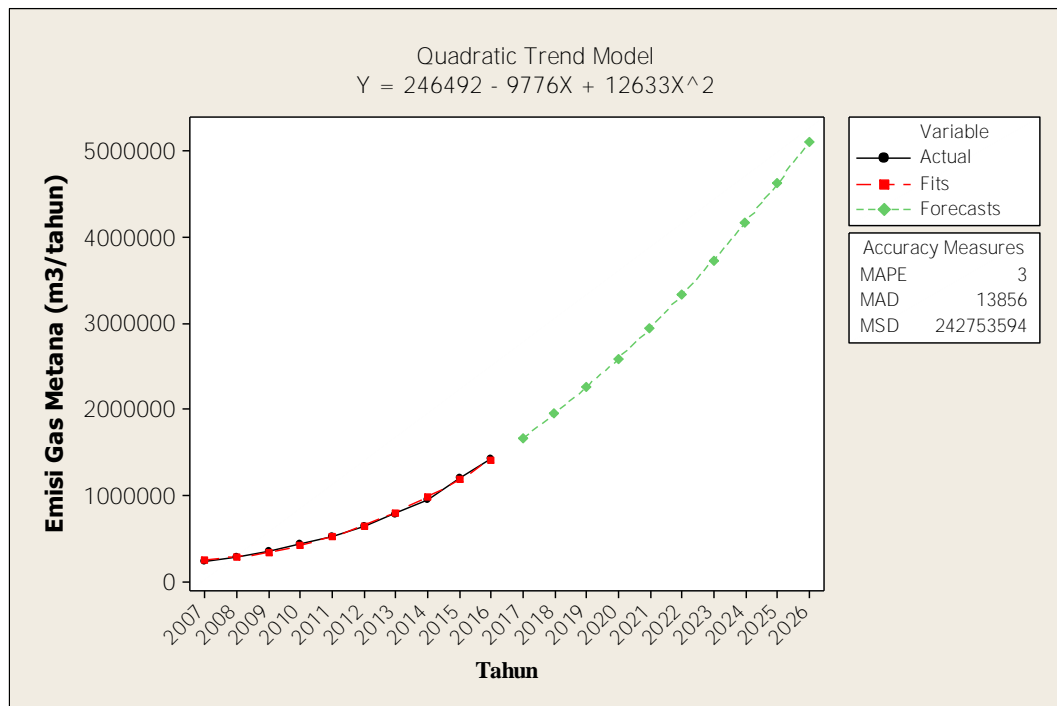
Tabel 4.13 pada tahun 2007, fraksi grup income untuk pedesaan nilainya 0.12, perkotaan dengan pendapatan tinggi nilainya 0.34 dan untuk perkotaan

pendapatan rendah nilainya 0.54. Tingkat penggunaan adalah jenis presentase pengolahan yang dilakukan masing-masing. Pekotaan dengan pendapatan rendah (Rusunawa) diolah dengan tangki septik 0.86 (86%), sedangkan limbah yang dibuang ke badan air dikarenakan terjadi kebocoran 0.14 (14%). Faktor emisi telah ditentukan pada tahapan estimasi faktor emisi CH<sub>4</sub> untuk IPAL domestik. Materi organik terdegradasi di limbah cair didapatkan dari estimasi materi yang terdegradasi, sedangkan S dan R tidak ada dikarenakan tidak ada lumpur yang diambil dan *direcovery*. Hasil emisi gas CH<sub>4</sub> pada tahun 2007 adalah 121132.91 kgCH<sub>4</sub>/tahun atau 0.12 Gg CH<sub>4</sub>/tahun. Hasil dari perhitungan IPCC emisi CH<sub>4</sub> aktivitas non domestik pada Tabel 4.14.

**Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Emisi CH<sub>4</sub> Aktivitas Non Domestik (IPCC)**

Tahun	Emisi Gas Metana (Net)	Massa CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /Tahun)
	(kg CH <sub>4</sub> /tahun)	
2007	121132.91	184653.82
2008	148426.27	226259.56
2009	181869.31	277239.80
2010	222847.65	339706.78
2011	273059.13	416248.67
2012	334584.13	510036.78
2013	409971.79	624957.00
2014	496973.38	757581.37
2015	628858.32	958625.49
2016	746124.84	1137385.42

Dari tabel 4.14 dapat diketahui hasil emisi gas metana (CH<sub>4</sub>) perhitungan IPCC juga mengalami peningkatan setiap tahunnya. Sama seperti halnya perhitungan dengan menggunakan massa CH<sub>4</sub>. Prediksi emisi gas metan (CH<sub>4</sub>) berdasarkan hasil perhitungan IPCC dapat dilihat pada Gambar 4.13.



**Gambar 4. 4 Prediksi Emisi Gas Metana Non Domestik (IPCC)**

Gambar 4.4 diatas dilihat prediksi kenaikan emisi Gas Metan ( $\text{CH}_4$ ) selama 10 tahun berdasarkan perhitungan IPCC, dimana pada tahun awal 2007 Emisi Gas Metan yang dihasilkan adalah  $230817.28 \text{ m}^3/\text{tahun}$ , dan meningkat setiap tahunnya dan diperoleh hasil regresi yaitu  $Y = 246492 - 9776X + 12633X^2$ . Berdasarkan persamaan tersebut Y adalah emisi gas metana dan X adalah tahun prediksi, dimana untuk tahun 2017 maka nilai X adalah 11, dan seterusnya sampai tahun 2026 adalah  $X = 20$ .

Kedua pendekatan perhitungan yang telah dilakukan diatas hasilnya berbeda. Hal tersebut dikarenakan pada pendekatan IPCC hasil perhitungan langsung menunjukkan emisi  $\text{CH}_4$  yang dihasilkan, jika perhitungan populasi hasilnya harus dikalikan 60% terlebih dahulu. Selain itu pada perhitungan IPCC banyak faktor yang menjadi pertimbangan, diantaranya adalah faktor emisi, faktor pengolahan limbah, faktor BOD.

#### 4.1.4 Analisa Dampak Lingkungan

Limbah cair yang merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca yang berasal dari limbah domestik dan non domestik yang tidak dimanfaatkan tentunya dengan meningkatnya jumlah limbah cair domestik akan meningkatkan emisi gas

rumah kaca terutama gas metana (Ma'rufatin A dkk, 2016), dengan dilakukannya pemanfaatan gas metana yang dihasilkan maka akan membantu mengurangi emisi yang terdapat di Surabaya khususnya Surabaya Utara.

## 4.2 Aspek Teknis

Kajian aspek teknis pada penelitian ini di dasarkan pada pengaplikasian dilapangan. Dimana, masyarakat memanfaatkan limbah IPAL rusunawa yang menghasilkan gas metana dengan bio – digester yang digunakan untuk energi listrik.

### 4.2.1 Prediksi Pemanfaatan Gas CH<sub>4</sub> Sebagai Energi Listrik

Perhitungan Prediksi pemanfaatan gas CH<sub>4</sub> dari domestik dan non domestik. Dimana, pemanfaatan gas CH<sub>4</sub> dari domestic adalah rumah susun dan non domsetik berasal dari hotel, rumah sakit, rumah makan, perkantoran, pertokoan, dan mall. Perhitungan pemanfaatan CH<sub>4</sub> menjadi listrik domestik berdasarkan perhitungan CH<sub>4</sub> populasi dan IPCC. Gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan dikonversi menjadi eergi listrik dengan dikalikan 11.17 kW. Menurut Bent, 2007 1m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> menghasilkan 11.17 kW. Hasil konversi CH<sub>4</sub> menjadi potensi energi listrik dapat di lihat pada tabel 4.15.

**Tabel 4. 15 Energi Listrik Domestik**

Tahun	Populasi (orang)	Massa CH <sub>4</sub> (Kg/ tahun)	Massa CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> / tahun)	Energi Listrik (kW)
2013	4700.00	36025.50	54916.92	613422.00
2014	5100.00	39091.50	59590.70	665628.13
2015	5550.00	42540.75	64848.70	724360.03
2016	6000.00	45990.00	70106.71	783091.92

### Energi Listrik (kW)

Tahun : 2013

Emisi Gas CH<sub>4</sub> : 54916.92 m<sup>3</sup>/tahun

Faktor Konversi : 11.17 kW/m<sup>3</sup>

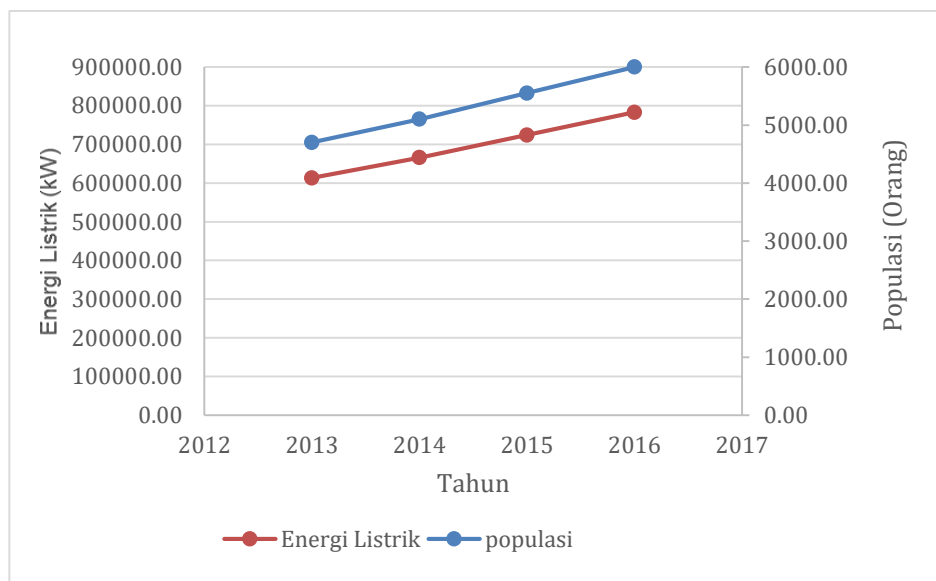
Maka energi listrik yang dihasilkan pada tahun 2007 adalah sebagai berikut :

**Energi Listrik (kWh) = Emisi Gas CH<sub>4</sub> x Faktor Konversi**

$$= 54916.92 \text{ m}^3/\text{tahun} \times 11.17 \text{ kW/m}^3$$

$$= 613422.00 \text{ kW/tahun}$$

Perhitungan konversi juga dilakukan untuk hasil emisi gas metana dengan IPCC. Dimana, persamaan regresinya dan prediksi potensi energi listrik 10 tahun mendatang dilihat pada Gambar 4.5.



**Gambar 4. 5 Hubungan Populasi terhadap Energi Listrik Domestik**

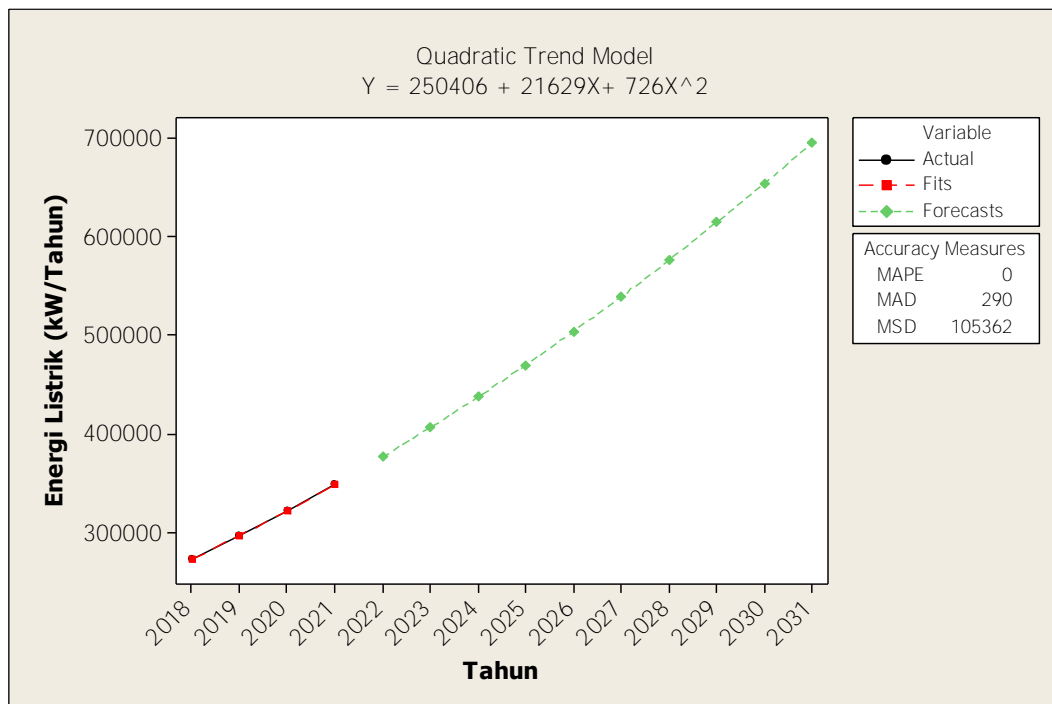
Berdasarkan gambar diatas pendekatan populasi berbanding lurus dengan energi listrik yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya penduduk maka energi listrik yang dihasilkan semakin bertambah.

Hasil perhitungan IPCC dilakukan sama juga seperti perhitungan populasi, gas metana yg dihasilkan di konversi menjadi  $\text{m}^3/\text{tahun}$  kemudian dikalikan dengan faktor konversi 11.17 kW.  $1\text{m}^3 \text{ CH}_4$  menghasilkan 11.17 kW. Hasil dapat di lihat pada tabel 4.16.

**Tabel 4. 16 Potensi Energi Listrik yang dihasilkan Aktivitas Domestik (IPCC)**

Tahun	Emisi gas metana (Net)	Emisi gas metana (Net)	Energi Listrik (kW/tahun)
	(kg CH <sub>4</sub> /yr)	(m <sup>3</sup> /tahun)	
2013	16027.44	24432.07	272906.19
2014	17391.47	26511.39	296132.25
2015	18926.02	28850.63	322261.57
2016	20460.56	31189.87	348390.88

Tabel 4.15 dan tabel 4.16 mengalami peningkatan potensi energi listrik tiap tahunnya. peningkatan potensi listrik energi dipengaruhi oleh peningkatan emisi gas CH<sub>4</sub>. Persamaan regresi potensi energi listrik yang diprediksi selama 10 tahun dapat dilihat pada gambar 4.6.



**Gambar 4. 6 Prediksi Energi Listrik Domestik (IPCC)**

Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa peningkatan potensi listrik tiap tahun seiring bertambahnya gas CH<sub>4</sub>. Hasil potensi pada tahun 2013 adalah 272906.19 kW/tahun. Hasil prediksi didapatkan persamaan yaitu  $Y = 250406 + 21629X + 726X^2$ . Berdasarkan persamaan tersebut, Y adalah Potensi energi listrik dan X adalah tahun prediksi, dimana untuk tahun 2017 maka nilai X adalah 11, dan seterusnya sampai tahun 2026 adalah 20. Hasil potensi energi listrik jika

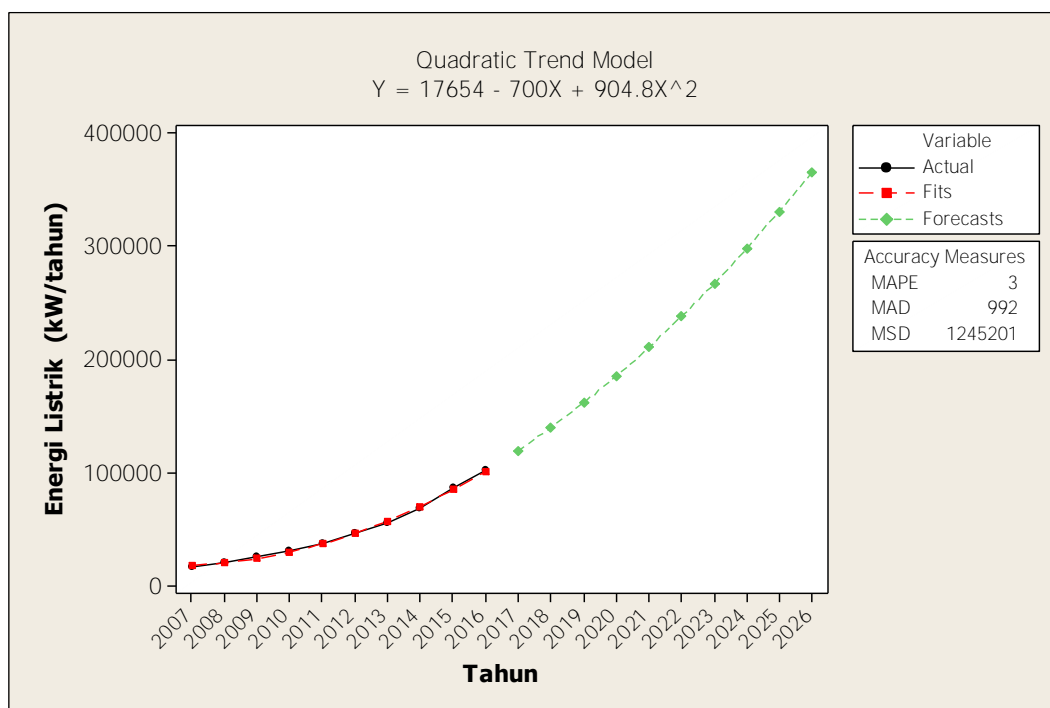
dimanfaatkan 100%. Pada kenyataannya gas metana tidak 100% dimanfaatkan tiap tahunnya. dimana, pemanfaatannya terkendala pada belum adanya sosialisasi dan kondisi di lapangan.

Perhitungan pemanfaatan CH<sub>4</sub> non domestik menjadi energi listrik pada aktivitas yang berpotensi yaitu mall, rumah sakit dan menghasilkan emisi gas CH<sub>4</sub> yang besar untuk menghasilkan energi listrik yang dapat mengoperasikan genset yang nantinya dapat berguna pada saat proses operasional.

Gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan kemudian dikonversi menjadi energi listrik dengan cara dikalikan 11,17 kW. Karena 1m<sup>3</sup> gas metan menghasilkan 11.17 kW energi listrik (Bent,2007). Hasil konversi CH<sub>4</sub> menjadi energi listrik dapat dilihat pada tabel 4.17 dan prediksi 10 tahun potensi energi listrik non domestik.

**Tabel 4. 17 Potensi Energi Listrik Aktivitas Non Domestik**

Tahun	Emisi Gas Metana (Net)		Massa CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /Tahun)	Energi Listrik (kW/tahun)
	(kg CH <sub>4</sub> /tahun)	(Gg CH <sub>4</sub> /Tahun)		
2007	121132.91	0.12	184653.82	16531.23
2008	148426.27	0.15	226259.56	20256.00
2009	181869.31	0.18	277239.80	24820.04
2010	222847.65	0.22	339706.78	30412.42
2011	273059.13	0.27	416248.67	37264.88
2012	334584.13	0.33	510036.78	45661.31
2013	409971.79	0.41	624957.00	55949.60
2014	496973.38	0.50	757581.37	67822.86
2015	628858.32	0.63	958625.49	85821.44
2016	746124.84	0.75	1137385.42	101825.02



**Gambar 4. 7 Prediksi Energi Listrik Non Domestik**

Gambar 4.7 diatas dapat dilihat terjadi peningkatan potensi energi listrik tiap tahunnya. Potensi energi listrik yang dihasilkan pada tahun 2007 sebesar 16531.23 kW/tahun dan meningkat tiap tahunnya. Hasil persamaan regresi didapat yaitu  $Y = 17654 - 700X + 904.8X^2$ . Berdasarkan persamaan tersebut ,Y adalah Potensi energi listrik dan X adalah tahun prediksi, dimana untuk tahun 2017 maka nilai X adalah 11, dan seterusnya sampai tahun 2026 adalah 20. Hasil potensi energi listrik jika dimanfaatkan 100%. Pada kenyataannya gas metana tidak 100% dimanfaatkan tiap tahunnya. dimana, pemanfaatannya terkendala pada belum adanya sosialisasi dan kondisi di lapangan.

Sedangkan konversi CH<sub>4</sub> menjadi energi listrik menurut perhitungan IPCC tidak dapat diketahui. Perhitungan IPCC menggunakan populasi ekivalen total keseluruhan limbah yang dihasilkan tiap tahunnya tetapi tidak diketahui berapa besar emisi gas CH<sub>4</sub> untuk setiap unit aktivitas non domestic.

### 4.3 Aspek Finansial

Kajian aspek finansial pada penelitian ini sebagai berikut:



a. Iuran Pengguna

Iuran pengguna sangat berguna dalam menunjang kegiatan operasional dan pemeliharaan IPAL domestik komunal dan bio - digester.

b.

#### 4.3.1 Aplikasi Skema CDM untuk Rumah Susun

Terdapat dilampiran

#### 4.3.2 Perhitungan Potensi Emisi yang Tereduksi dengan Strategi CDM

Perhitungan potensi emisi CH<sub>4</sub> dari perhitungan IPCC yang tereduksi yang dimanfaatkan untuk energi terbarukan dengan perhitungan strategi CDM dengan studi kasus di rusunawa dapat dilihat pada tabel 4.18.

**Tabel 4. 18 Perhitungan CDM**

Tahun	Emisi gas metana (Net)	Reduksi (ton/tahun)	Harga Bahan Bakar CH <sub>4</sub> (Rp.10.000.000/ton)
	(Ton/tahun)		
2017	33.72	1.69	Rp 16,860,000.00
2018	36.37	3.64	Rp 36,370,000.00
2019	39.15	5.87	Rp 58,725,000.00
2020	42.06	8.41	Rp 84,120,000.00
2021	45.1	11.28	Rp 112,750,000.00
2022	48.27	14.48	Rp 144,810,000.00
2023	51.58	18.05	Rp 180,530,000.00
2024	55.01	22.00	Rp 220,040,000.00
2025	58.57	26.36	Rp 263,565,000.00
2026	62.26	31.13	Rp 311,300,000.00
Total			Rp 1,429,070,000.00

Tabel 4.18 dapat dilihat hasil perhitungan project CDM yang pemanfaatan 5% pada tahun 2017 atau sebanyak 1.69 Ton/tahun dan Pemanfaatan gas metan setiap tahunnya mengalami peningkatan sebesar 5% sampai akhir tahun prediksi pada tahun 2026. Pemanfaatan gas metana menjadi memasak dengan pendekatan CDM project dapat menghasilkan pada tahun 2018 senilai Rp. 36370000,- dan dengan pemakaian genset selama 30 tahun. dengan catatan CDM project di Indonesia untuk saat ini sudah tidak lagi dilanjutkan dikarenakan Indonesia dianggap tidak konsisten dengan pemanfaatan atau reduksi gas rumah kaca. Dengan cost pada tabel 4.19.

**Tabel 4.19 Perhitungan Cost**

Nama	Harga	Satuan	Jumlah
Genset Cat 1500 kVA	Rp 3,578,646,500.00	1	Rp 3,578,646,500.00
Pipa besi 1"	Rp 305,000.00	56	Rp 17,080,000.00
Total			Rp 3,595,726,500.00

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **1.1 Kesimpulan**

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Aspek Lingkungan
  - Emisi gas metana domestik pada tahun 2013 sebesar 54.92 ton/tahun dan setiap tahunnya meningkat. Emisi gas metana domestik dari IPCC 2013 sebesar 24.07 ton/tahun, emisi gas metana non domestik 2007 sebesar 1.36 ton/tahun dan emisi gas metana non domestik dari IPCC pada tahun 2007 sebesar 184.82 ton/tahun.
2. Aspek Teknis
  - Energi listrik domestik tahun 2013 sebesar 613422.00 kW, energi listrik domestik IPCC tahun 2013 sebesar 7272906.19 kW dan non domestik tahun 2007 sebesar 16531.23 kW.
3. Aspek Finansial
  - Pemanfaatan dari CDM berdasarkan dari IPCC Domestik 2018 sebesar Rp. 36370000,-.

#### **1.2 Saran**

Berdasarkan dari hasil serta kesimpulan yang telah didapatkan saran untuk penelitian selanjutnya.

1. penelitian selanjutnya dapat juga dikembangkan untuk analisis jenis emisi gas rumah kaca lainnya selain dari gas metana yang dapat di kembangkan untuk energi terbarukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, S. (2006). *Prosedur Penelitian, Suatu Pendekatan Praktik*, Edisi Revisi IV, PT Rineka Cipta. Jakarta.
- Basri, A.D. (2017). Prediksi Emisi Gas Karbondioksida dan Metana serta Potensi Energi Listrik dari Aktivitas Domestik dan Non Domestik di Surabaya Selatan. Tesis di Program Magister Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya. [L]<sub>[SEP]</sub>
- Bent, S. (2007). *Renewable Energy Conversation, Transmission and Storage*, International J Global Energy Issues 13 (3). 196-276.
- El Haq, P, S. (2009). *Potensi Lumpur Tinja Manusia Sebagai Biogas*, Tugas Akhir, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Finarta, G, M, J. (2011). *Studi Pola Penggunaan Tangki Septik dan Emisi Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan Metana (CH<sub>4</sub>) dari Tangki Septik Di Surabaya Bagian Utara*, Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- IPCC. (2006). *Climate Change, The IPCC Scientific Assessment*. World Meteorological Organization / United Nations Environment Programme Intergovernmental Panel on Climate Change. [L]<sub>[SEP]</sub>
- Mara, D, D. (2003). *Domestic Wastewater Treatment In Developing Countries*, Earthscan. London. pp 293.
- Notoatmodjo, S. (2007). *Promosi Kesehatan*, Rineka Cipta. Jakarta.
- Razak, A. (2007). *Kajian Yuridis CarbonTrade dalam Penyelesaian Efek Rumah Kaca*, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Stern, Nicholas. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press. [L]<sub>[SEP]</sub>
- Trismidianto, dkk. 2008. *Studi Penentuan konsentrasi CO<sub>2</sub> dan Gas Rumah Kaca (GRK) lainnya di Wilayah Indonesia*, Lapan, Mojokerto

US-EPA. (2010). *Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources*.  
United States Environmental Protection Agency, Washington DC, USA,  
EPA 430-R-10-001.

Wahyono, T. (2008). *Upaya Pemberdayaan Masyarakat Dalam Pelestarian Hutan  
Sebagai Pencegah Pemanasan Global*, Universitas Indonesia. Jakarta.

Waskito, D. (2011). *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan  
Pemanfaatan Kotoran Sapi di Kawasan Usaha Peternakan Sapi*, Tesis.  
Universitas Indonesia. Jakarta.

Wati, D, A, E. (2011). *Studi Pola Penggunaan Tangki Septik dan Emisi  
Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan Metana (CH<sub>4</sub>) dari Tangki Septik di Surabaya Selatan*,  
Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

## Lampiran

Tabel A Lampiran Pengolahan Data Domestik di Surabaya Utara

NO	BANYAKNYA PENGHUNI RUMAH	LANTAI RUMAH	ALAMAT	KELURAHAN/DESA	KECAMATAN
1	4	1	BULAK CUMPAT 1 / 1	BULAK	BULAK
2	6	1	BULAK CUMPAT 2 / 9		
3	5	1	BULAK CUMPAT TIMUR 33		
4	7	2	BULAK RUKEM TIMUR 2I. KAV-A10		
5	7	2	BULAK RUKEM TIMUR 2K / 15		
6	3	1	NAMBANGAN PERAK 31 A	KEDUNG COWEK	
7	5	1	NAMBANGAN PERAK 2 / 4		
8	5	1	CUMPAT 6 / 12		
9	5	2	CUMPAT KULON BARU 1/12		
10	6	2	KALILOM LOR TIMUR 6/8		
11	5	1	TAMBAK DERES 5 / 1	KENJERAN	
12	4	1	TAMBAK DERES 4 / 24		
13	6	2	TAMBAK DERES 1 / 10A		
14	5	2	TAMBAK DERES LANGGAR 21 C		
15	5	2	TAMBAK DERES 4 / 21		
16	4	1	SUKOLILO LARANGAN 8C / 118	SUKOLILO BARU	
17	8	1	SUKOLILO 1A / 9		
18	6	2	SUKOLILO 6 / 5		
19	2	2	SUKOLILO 2 / 10		
20	3	2	SUKOLILO 1B / 26		
21	5	1	SIDOTOPO KULON 85 B	SIDOTOPO	SEMAMPIR

22	9	1	SIDONIPAH 1- TERLOLONGAN 6 J		
23	3	2	SIDOTOPO KIDUL 116 B		
24	4	2	SIDOTOPO SEKOLAHAN 6 / 38		
25	2	2	SIDOTOPO SEKOLAHAN 9 / 20A RT 08 / RW 05		
26	2	1	NYAMPLUNGAN 10 / 18A BU-32	AMPEL	
27	3	1	NYAMPLUNGAN 1 / 16A		
28	5	2	AMPEL KESUMBA 12		
29	5	2	NYAMPLUNGAN BALOKAN 3A RT 01 / RW 13		
30	5	2	PETUKANGAN TENGAH 76		
31	3	1	WONOKUSUMO JAYA 34 A	PEGIRIAN	
32	5	1	WONOKUSUMO JAYA 7 / 10 AFT		
33	4	2	KARANG TEMBOK 5 / 73 B		
34	2	2	KARANG TEMBOK 7 / 1 I		
35	4	1	WONOSARI LOR 124 A	UJUNG	
36	4	1	BULAK SARI 6 / 24		
37	5	2	BULAK SARI 6 / 7		
38	3	2	BULAK SARI LEBAR 11 A		
39	6	1	WONOSARI TEGAL 3 / 36	WONOKUSUMO	
40	7	1	WONOSARI LOR 3 / 3		
41	4	2	WONOKUSUMO TENGAH 54		
42	10	2	WONOKUSUMO TENGAH 23		
43	10	1	PENGANPON KALIMIR 11	BONGKARAN	PABEAN CANTIKAN
44	15	1	SEMUT BARU 142A		
45	4	2	SEMUT BARU 12 ATR		
46	3	2	SEMUT 4 40		
47	5	1	KALIMAS HILIR 3A / 6	NYAMPLUNGAN	
48	4	1	KALIMAS UDIK 3 / 6		

49	6	2	KALIMAS UDIK 3/ 45	KREMBANGAN UTARA	
50	1	2	GILI 5 / 17		
51	3	1	KEBALEN WETAN 2 / 8		
52	12	1	TAMBAK GRINGSING BARU 3-1 / 6		
53	5	2	MUTERAN 6 / 1		
54	5	2	KEBALEN TIMUR 96	PERAK TIMUR	
55	3	1	TAMBAK GRINGSING BARU 3BNT 17		
56	2	1	PESAPEN BARAT 7 / 16		
57	4	2	PESAPEN BARAT 6 / 2		
58	2	2	PESAPEN BARAT 9 / 3	PERAK UTARA	
59	6	1	TELUK ARU TENGAH 5		
60	7	1	TELUK ARU TENGAH 29 ASR		
61	3	2	TELUK ARU 1 / 1 A		
62	4	2	TELUK ARU UTARA 71	DUPAK	KREMBANGAN
63	5	1	DUPAK BANDAREJO 1 / 31		
64	6	1	BABADAN RUKUN 111 A		
65	5	2	DUPAK BANGUNSARI 6 / 10B RT 08 RW 04		
66	5	2	DUPAK BANGUNREJO 5 / 51 A	KEMAYORAN	
67	5	1	KREMBANGAN BARU 6 / 5		
68	7	1	KREMBANGAN JAYA 3 / 2		
69	6	2	KREMBANGAN BHAKTI 41		
70	4	2	KREMBANGAN JAYA UTARA 9 / 17	KREMBANGAN SELATAN	
71	5	1	SANGGAR 45 A		
72	5	1	KREMBANGAN MAKAM 6 B		
73	2	2	PESAPEN KALI 32 C		
74	6	2	KEMAYORAN KAUMAN 7 A		



75	2	1	GADUKAN UTARA SD 43	MOROKREMBANGAN	
76	3	1	GADUKAN UTARA 6B / 44 B		
77	6	2	GADUKAN UTARA 2C / 4		
78	7	2	GADUKAN UTARA 5B / 14 A		
79	5	1	IKAN KERAPU 5 C	PERAK BARAT	
80	3	1	IKAN GURAMI 1 / 16		
81	9	2	IKAN KERAPU 3 / 21		
82	4	2	IKAN KERAPU 3 / 31		
83	9	1	DUKUH BULAKBANTENG PATRIOT 4 / 15	BULAKBANTENG	KENJERAN
84	2	1	DUKUH BULAKBANTENG PATRIOT 3A / 42		
85	5	2	DUKUH BULAKBANTENG PATRIOT 4 / 1		
86	4	2	DUKUH BULAKBANTENG PATRIOT 3 / 20		
87	4	1	TAMBAK WEDI BARU 47	TAMBAKWEDI	
88	7	1	TAMBAK WEDI BARU XVIIIID UTARA / 2		
89	3	2	TAMBAK WEDI BARU 28 A		
90	6	2	TAMBAK WEDI BARU 95		
91	4	1	KEDINDING LOR PALM 1 / 50	TANAH KALIEDINDING	
92	6	1	KEDINDING LOR KEMUNING 69		
93	7	2	KEDINDING LOR KEMUNING 1 / 12 B		
94	5	2	KEDINDING LOR KEMUNING 1 / 17		
95	3	1	SIDOTOPO WETAN MULIA 1 / 42 B	SIDOTOPO WETAN	
96	10	1	SIDOTOPO WETAN MULIA 1 / 21		
97	5	2	SIDOTOPO WETAN MULIA 3 / 4		
98	4	2	SIDOTOPO WETAN MULIA 3 / 23		

Lampiran B Data Non Domestik

MALL					
NO	NAMA RESPONDEN	M3/TAHUN	M3/BULAN	M3/HARI	org (populasi eqiv)
1	JMP	43538	3628	120.94	525.82
2	PGS	30628	2552	85.08	369.90
3	ITC Mega Grosir	52787	4399	146.63	637.52
4	Pasar atom mall	124033	10336	344.54	1497.98
5	Pasar burung petekan	2995	250	8.32	36.17
		253981	21165.08	705.50	3067.40
		50796.2	4233.02	141.10	613.48

PERTOKOAN					
NO	NAMA RESPONDEN	M3/TAHUN	M3/BULAN	M3/HARI	org (populasi eqiv)
1	Hoki teleshop	1359	113.25	3.78	16.41
2	Hino kalimas	999	83.25	2.78	12.07
3	Buana bakery	1615	134.58	4.49	19.50
4	Pusat oleh – oleh haji	1098	91.50	3.05	13.26
5	Cv bandung central arteri samudra	889	74.08	2.47	10.74
		5960	496.67	16.56	71.98
		1192	99.33	3.31	14.40

HOTEL					
NO	NAMA RESPONDEN	M3/TAHUN	M3/BULAN	M3/HARI	org (populasi equiv)
1	Hotel new grand park	12791	1065.92	35.53	154.48
2	POP Hotel Stasiun Kota	6303	525.25	17.51	76.12
3	Quds Royal Hotel	4070	339.17	11.31	49.15
4	Hotel pacific	12865	1072.08	35.74	155.37
5	Hotel arcadia by horizon	13486	1123.83	37.46	162.87
		49515	4126.25	137.54	598.01
		9903	825.25	27.51	119.60

RUMAH SAKIT					
NO	NAMA RESPONDEN	M3/TAHUN	M3/BULAN	M3/HARI	org (populasi equiv)
1	Rumah sakit PHC	30566	2547.17	84.91	369.15
2	RSAL tanjung perak	14650	1220.83	40.69	176.93
3	Rumah sakit Al – Irsyad	30657	2554.75	85.16	370.25
4	Rumah sakit PKU Muhammadiyah Surabaya	30690	2557.50	85.25	370.65
5	Rumah sakit Paru Surabaya	12356	1029.67	34.32	149.23
		118919	9909.92	330.33	1436.22
		23783.8	1981.98	66.07	287.24

KANTOR					
NO	NAMA RESPONDEN	M3/TAHUN	M3/BULAN	M3/HARI	org (populasi eqiv)
1	PT Pelindo III	6693	557.75	18.59	80.83
2	PT Indonesia Ferry (asdp)	8378	698.17	23.27	101.18
3	PT GE power solutions Indonesia	5604	467.00	15.57	67.68
4	PT PAL	4513	376.08	12.54	54.50
5	PT pelindo marine service	7676	639.67	21.32	92.71
		32864	2738.67	91.29	396.91
		6572.8	547.73	18.26	79.38

RUMAH SUSUN					
NO	NAMA RESPONDEN	M3/TAHUN	M3/BULAN	M3/HARI	org (populasi eqiv)
1	Rusun tanah merah	5081	423.42	14.11	61.36
		5081	423.42	14.11	61.36
		5081	423.42	14.11	61.36

RUMAH MAKAN					
NO	NAMA RESPONDEN	M3/TAHUN	M3/BULAN	M3/HARI	org (populasi eqiv)
1	Rumah makan tanjung perak	1412	117.67	3.92	17.05
2	Rumah makan padang muara	604	50.33	1.68	7.29
3	Rumah makan aroma Makassar	1008	84.00	2.80	12.17
4	Rumah makan laksana	821	68.42	2.28	9.92
5	Rumah makan nasi empal pengampon	806	67.17	2.24	9.73
		4651	387.58	12.92	56.17
		930.2	77.52	2.58	11.23

## Lampiran D IPCC Domestik

TAHUN 2013									
Sektor	Limbah								
Kategori	IPAL domestik								
Kode Kategori	4D1								
Lembar	3 dari 3 Estimasi emisi CH <sub>4</sub> dari limbah cair domestik								
STEP 3									
Grup income	Jenis pengolahan	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraksi grup income	Tingkat penggunaan	Faktor emisi	Materi organik terdegradasi di limbah cair	Lumpur yang diambil (sludge removed)	Gas metana yang direkoveri dan dibakar	Emisi gas metana (Net)	Emisi gas metana (Net)
		(U <sub>i</sub> )	(T <sub>ij</sub> )	(EF <sub>j</sub> )	(TOW)	(S)	(R)	(CH <sub>4</sub> )	(CH <sub>4</sub> )
		(fraksi)	(fraksi)	(kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)	(kg BOD/tahun)	(kg BOD/tahun)	(kg CH <sub>4</sub> /tahun)	(kg CH <sub>4</sub> /yr)	(Gg CH <sub>4</sub> /yr)
				Lembar 2 dari 3	Lembar 1 dari 3			$G = [(A \times B \times C) \times (D - E)] - F$	
Pedesaan	Tangki septik	0.12	0.30	0.30	68,620			741	0.0
	Latrine/cubluk	0.12	0.17	0.06	68,620			84	0.0
	Badan Air	0.12	0.00	0.06	68,620			-	-
	Saluran/Sewer	0.12	0.10	0.30	68,620			247	0.0
	None	0.12	0.43	0.00	68,620			-	-
Perkotaan pendapatan tinggi	Tangki septik	0.34	0.74	0.30	68,620			5,179	0.0
	Latrine/cubluk	0.34	0.08	0.06	68,620			112	0.0
	Badan Air	0.34	0.00	0.06	68,620			-	-
	Saluran/Sewer	0.34	0.18	0.30	68,620			1,260	0.0
	None	0.34	0.00	0.00	68,620			-	-
Perkotaan pendapatan rendah	Tangki septik	0.54	0.53	0.30	68,620			5,892	0.0
	Latrine/cubluk	0.54	0.10	0.06	68,620			222	0.0
	Badan Air	0.54	0.03	0.06	68,620			67	0.0
	Saluran/Sewer	0.54	0.20	0.30	68,620			2,223	0.0
	None	0.54	0.14	0.00	68,620			-	-
Total							16,027	0.0	

TAHUN 2014									
Sektor	Limbah								
Kategori	IPAL domestik								
Kode Kategori	4D1								
Lembar	3 dari 3 Estimasi emisi CH <sub>4</sub> dari limbah cair domestik								
STEP 3									
Grup income	Jenis pengolahan	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraksi grup income	Tingkat penggunaan	Faktor emisi	Materi organik terdegradasi di limbah cair	Lumpur yang diambil (sludge removed)	Gas metana yang direkoveri dan dibakar	Emisi gas metana (Net)	Emisi gas metana (Net)
		(U <sub>i</sub> )	(T <sub>ij</sub> )	(EF <sub>i</sub> )	(TOW)	(S)	(R)	(CH <sub>4</sub> )	(CH <sub>4</sub> )
		(fraksi)	(fraksi)	(kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)	(kg BOD/tahun)	(kg BOD/tahun)	(kg CH <sub>4</sub> /tahun)	(kg CH <sub>4</sub> /yr)	(Gg CH <sub>4</sub> /yr)
				Lembar 2 dari 3	Lembar 1 dari 3			$G = [(A \times B \times C) \times (D - E)] - F$	
Pedesaan	Tangki septik	0.12	0.30	0.30	74,460			804	0.0
	Latrine/cubluk	0.12	0.17	0.06	74,460			91	0.0
	Badan Air	0.12	0.00	0.06	74,460			-	-
	Saluran/Sewer	0.12	0.10	0.30	74,460			268	0.0
	None	0.12	0.43	0.00	74,460			-	-
Perkotaan pendapatan tinggi	Tangki septik	0.34	0.74	0.30	74,460			5,620	0.0
	Latrine/cubluk	0.34	0.08	0.06	74,460			122	0.0
	Badan Air	0.34	0.00	0.06	74,460			-	-
	Saluran/Sewer	0.34	0.18	0.30	74,460			1,367	0.0
	None	0.34	0.00	0.00	74,460			-	-
Perkotaan pendapatan rendah	Tangki septik	0.54	0.53	0.30	74,460			6,393	0.0
	Latrine/cubluk	0.54	0.10	0.06	74,460			241	0.0
	Badan Air	0.54	0.03	0.06	74,460			72	0.0
	Saluran/Sewer	0.54	0.20	0.30	74,460			2,413	0.0
	None	0.54	0.14	0.00	74,460			-	-
Total								17,391	0.0

TAHUN 2015									
Sektor	Limbah								
Kategori	IPAL domestik								
Kode Kategori	4D1								
Lembar	3 dari 3 Estimasi emisi CH <sub>4</sub> dari limbah cair domestik								
STEP 3									
Grup income	Jenis pengolahan	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraksi grup income	Tingkat penggunaan	Faktor emisi	Materi organik terdegradasi di limbah cair	Lumpur yang diambil (sludge removed)	Gas metana yang direkoveri dan dibakar	Emisi gas metana (Net)	Emisi gas metana (Net)
		(U <sub>i</sub> )	(T <sub>ij</sub> )	(EF <sub>j</sub> )	(TOW)	(S)	(R)	(CH <sub>4</sub> )	(CH <sub>4</sub> )
		(fraksi)	(fraksi)	(kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)	(kg BOD/tahun)	(kg BOD/tahun)	(kg CH <sub>4</sub> /tahun)	(kg CH <sub>4</sub> /yr)	(Gg CH <sub>4</sub> /yr)
				Lembar 2 dari 3	Lembar 1 dari 3			$G = [(A \times B \times C) \times (D - E)] - F$	
Pedesaan	Tangki septik	0.12	0.30	0.30	81,030			875	0.0
	Latrine/cubluk	0.12	0.17	0.06	81,030			99	0.0
	Badan Air	0.12	0.00	0.06	81,030			-	-
	Saluran/Sewer	0.12	0.10	0.30	81,030			292	0.0
	None	0.12	0.43	0.00	81,030			-	-
Perkotaan pendapatan tinggi	Tangki septik	0.34	0.74	0.30	81,030			6,116	0.0
	Latrine/cubluk	0.34	0.08	0.06	81,030			132	0.0
	Badan Air	0.34	0.00	0.06	81,030			-	-
	Saluran/Sewer	0.34	0.18	0.30	81,030			1,488	0.0
	None	0.34	0.00	0.00	81,030			-	-
Perkotaan pendapatan rendah	Tangki septik	0.54	0.53	0.30	81,030			6,957	0.0
	Latrine/cubluk	0.54	0.10	0.06	81,030			263	0.0
	Badan Air	0.54	0.03	0.06	81,030			79	0.0
	Saluran/Sewer	0.54	0.20	0.30	81,030			2,625	0.0
	None	0.54	0.14	0.00	81,030			-	-
Total							18,926	0.0	



TAHUN 2016									
Sektor		Limbah							
Kategori		IPAL domestik							
Kode Kategori		4D1							
Lembar		3 dari 3 Estimasi emisi CH <sub>4</sub> dari limbah cair domestik							
STEP 3									
Grup income	Jenis pengolahan	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraksi grup income	Tingkat penggunaan	Faktor emisi	Materi organik terdegradasi di limbah cair	Lumpur yang diambil (sludge removed)	Gas metana yang direkoveri dan dibakar	Emisi gas metana (Net)	Emisi gas metana (Net)
		(U <sub>i</sub> )	(T <sub>ij</sub> )	(EF <sub>i</sub> )	(TOW)	(S)	(R)	(CH <sub>4</sub> )	(CH <sub>4</sub> )
		(fraksi)	(fraksi)	(kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)	(kg BOD/tahun)	(kg BOD/tahun)	(kg CH <sub>4</sub> /tahun)	(kg CH <sub>4</sub> /yr)	(Gg CH <sub>4</sub> /yr)
				Lembar 2 dari 3	Lembar 1 dari 3			$G = [(A \times B \times C) \times (D - E)] - F$	
Pedesaan	Tangki septik	0.12	0.30	0.30	87,600			946	0.0
	Latrine/cubluk	0.12	0.17	0.06	87,600			107	0.0
	Badan Air	0.12	0.00	0.06	87,600			-	-
	Saluran/Sewer	0.12	0.10	0.30	87,600			315	0.0
	None	0.12	0.43	0.00	87,600			-	-
Perkotaan pendapatan tinggi	Tangki septik	0.34	0.74	0.30	87,600			6,612	0.0
	Latrine/cubluk	0.34	0.08	0.06	87,600			143	0.0
	Badan Air	0.34	0.00	0.06	87,600			-	-
	Saluran/Sewer	0.34	0.18	0.30	87,600			1,608	0.0
	None	0.34	0.00	0.00	87,600			-	-
Perkotaan pendapatan rendah	Tangki septik	0.54	0.53	0.30	87,600			7,521	0.0
	Latrine/cubluk	0.54	0.10	0.06	87,600			284	0.0
	Badan Air	0.54	0.03	0.06	87,600			85	0.0
	Saluran/Sewer	0.54	0.20	0.30	87,600			2,838	0.0
	None	0.54	0.14	0.00	87,600			-	-
Total								20.461	0.0

## Lampiran D IPCC Non Domestik

TAHUN 2007									
Sektor	Limbah								
Kategori	IPAL domestik								
Kode Kategori	4D1								
Lembar	3 dari 3 Estimasi emisi CH <sub>4</sub> dari limbah cair domestik								
STEP 3									
Grup income	Jenis pengolahan	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraksi grup income	Tingkat penggunaan	Faktor emisi	Materi organik terdegradasi di limbah cair (TOW)	Lumpur yang diambil (sludge) (S)	Gas metana yang direkoveri (R)	Emisi gas metana (Net) (CH <sub>4</sub> )	Emisi gas metana (Net) (CH <sub>4</sub> )
		(U <sub>i</sub> )	(T <sub>ij</sub> )	(EF <sub>i</sub> )					
		(fraction)	(fraction)	(kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)	(kg BOD/yr)	(kg BOD/yr)	(kg CH <sub>4</sub> /yr)	(kg CH <sub>4</sub> /yr)	(Gg CH <sub>4</sub> /yr)
				Sheet 2 of 3	Sheet 1 of 3			G = [(A x B x C) x (D-E)] - F	
Pedesaan	Tangki septik	0.12	0.00	0.30	1,052,553			-	-
	IPAL tidak di kelola	0.12	0.00	0.18	1,052,553			-	-
	Badan Air	0.12	0.00	0.06	1,052,553			-	-
	Saluran/Sewer	0.12	0.00	0.30	1,052,553			-	-
	None	0.12	0.00	0.00	1,052,553			-	-
Perkotaan pendapatan tinggi	Tangki septik	0.34	0.00	0.30	1,052,553			-	-
	IPAL tidak di kelola	0.34	0.00	0.18	1,052,553			-	-
	Badan Air	0.34	0.00	0.06	1,052,553			-	-
	Saluran/Sewer	0.34	0.00	0.30	1,052,553			-	-
	None	0.34	0.00	0.00	1,052,553			-	-
Perkotaan pendapatan rendah	Tangki septik	0.54	0.86	0.30	1,052,553			146,642	0.1
	IPAL tidak di kelola	0.54	0.00	0.06	1,052,553			-	-
	Badan Air	0.54	0.14	0.06	1,052,553			4,774	0.0
	Saluran/Sewer	0.54	0.00	0.30	1,052,553			-	-
	None	0.54	0.00	0.00	1,052,553			-	-
<b>Total</b>								151,416	<b>0.151</b>





















TAHUN 2015									
Sektor	Limbah								
Kategori	IPAL domestik								
Kode Kategori	4D1								
Lembar	3 dari 3 Estimasi emisi CH <sub>4</sub> dari limbah cair domestik								
STEP 3									
Grup income	Jenis pengolahan	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraksi grup income	Tingkat penggunaan	Faktor emisi	Materi organik terdegradasi di limbah cair	Lumpur yang diambil (sludge)	Gas metana yang direkoveri	Emisi gas metana (Net)	Emisi gas metana (Net)
		(U <sub>i</sub> ) (fraksi)	(T <sub>ij</sub> ) (fraksi)	(EF <sub>i</sub> ) (kg CH <sub>4</sub> /kg BOD)	(TOW) (kg BOD/tahun)	(S) (kg BOD/tahun)	(R) (kg CH <sub>4</sub> /tahun)	(CH <sub>4</sub> ) (kg CH <sub>4</sub> /yr)	(CH <sub>4</sub> ) (Gg CH <sub>4</sub> /yr)
				Lembar 2 dari 3	Lembar 1 dari 3			G = [(A x B x C) x (D-E)] - F	
Pedesaan	Tangki septik	0.12	0.00	0.30	5,464,304			-	-
	Latrine/cubluk	0.12	0.00	0.06	5,464,304			-	-
	Badan Air	0.12	0.00	0.06	5,464,304			-	-
	Saluran/Sewer	0.12	0.00	0.30	5,464,304			-	-
	None	0.12	0.00	0.00	5,464,304			-	-
Perkotaan pendapatan tinggi	Tangki septik	0.34	0.00	0.30	5,464,304			-	-
	Latrine/cubluk	0.34	0.00	0.06	5,464,304			-	-
	Badan Air	0.34	0.00	0.06	5,464,304			-	-
	Saluran/Sewer	0.34	0.00	0.30	5,464,304			-	-
	None	0.34	0.00	0.00	5,464,304			-	-
Perkotaan pendapatan rendah	Tangki septik	0.54	0.86	0.30	5,464,304			761,287	0.8
	Latrine/cubluk	0.54	0.00	0.06	5,464,304			-	-
	Badan Air	0.54	0.14	0.06	5,464,304			24,786	0.0
	Saluran/Sewer	0.54	0.00	0.30	5,464,304			-	-
	None	0.54	0.00	0.00	5,464,304			-	-
Total							786,073	0.8	





## BIOGRAFI



Penulis dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 6 Desember 1992 dengan nama lengkap I Made Satya Graha. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari ayah Drs Ketut Ambara.,M.M dan ibu Dra Yulianti. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SDN Kalirungkut I/264 tahun 2004, kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) di 17 Agustus 1945 Surabaya dengan tahun kelulusan 2007, dan menyelesaikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Trimurti Surabaya pada tahun 2010. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan tinggi di Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya – ITS dan berhasil menyelesaikan studi selama 4,5 tahun pada 2015 dengan judul Tugas Akhir “Identifikasi Kualitas Air Kali Dami Kota Surabaya dengan Metode Qual2Kw. Setelah lulus dari Perguruan Tinggi, selanjutnya penulis melanjutkan studi program pascasarjana (S2) di jurusan Teknik Lingkungan, institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, dan menyelesaikannya pada tahun 2018 dengan tesis berjudul “Potensi Biogas dan Energi Listrik dari Pemanfaatan CH<sub>4</sub> Limbah Domestik dan Non Domestik di Surabaya Utara”. Bagi pembaca yang memiliki saran dan kritik dapat menghubungi penulis melalui email [imade.satyagraha@gmail.com](mailto:imade.satyagraha@gmail.com).